

УДК 582.284:581.14.142+615.32

Е. Н. Алексеенко, Т. М. Полишко, А. И. Винников

Днепропетровский национальный университет им. Олеса Гончара

ПИЩЕВАЯ, ЛЕЧЕБНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ ГРИБОВ *PLEUROTUS OSTREATUS*

Проанализированы данные литературы, характеризующие пищевые, лечебные и экологические свойства гриба *Pleurotus ostreatus* (вешенка обыкновенная). Вешенка – полноценный продукт питания, обеспечивающий потребность организма человека в белках, углеводах, жирах, витаминах и минеральных солях. В белках плодовых тел вешенки содержится 18 аминокислот, восемь из которых незаменимые (изолейцин, лейцин, лизин, метионин, фенилаланин, триптофан, треонин, валин). Лечебная ценность грибов характеризуется содержанием водорастворимых (тиамин B_1 , рибофлавин B_2 , ниацин B_3 , PP , пиридоксин B_6 , биотин B_7 , аскорбиновая и пантотеновая кислота) и жирорастворимых (кальциферол, эргостерол, токоферол) витаминов. Отмечена возможность значительного повышения эффективности использования отходов сельского хозяйства за счет получения плодовых тел, а также последующего применения субстрата после плодоношения в растениеводстве и животноводстве.

О. М. Алексеенко, Т. М. Полішко, А. І. Вінніков

Дніпропетровський національний університет ім. Олеса Гончара

ХАРЧОВА, ЛІКУВАЛЬНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ЦІННІСТЬ ГРИБІВ *PLEUROTUS OSTREATUS*

Проаналізовано дані літератури, що характеризують харчові, лікувальні та екологічні властивості грибів *Pleurotus ostreatus* (глива звичайна). Глива – повноцінний продукт харчування, який забезпечує потребу організму людини у білках, вуглеводах, жирах, вітамінах і мінеральних солях. У білках плодових тіл гливи міститься 18 амінокислот, 8 з яких незамінні (ізолейцин, лейцин, лізін, метіонін, фенілаланін, триптофан, треонін, валін). Лікувальна цінність грибів характеризується вмістом водорозчинних (тіамін B_1 , рибофлавін B_2 , ніацин B_3 , PP , піридоксин B_6 , біотин B_7 , аскорбінова та пантотенова кислота) і жиророзчинних (кальциферол, ергостерол, токоферол) вітамінів. Відмічено можливість значного підвищення ефективності використання відходів сільського господарства за рахунок отримання плодових тіл, а також наступного використання субстрату після плодоношення у рослинництві та тваринництві.

O. M. Alekseenko, T. M. Polishko, A. I. Vinnikov

Oles' Honchar Dnipropetrovsk National University

FOOD, MEDICINAL AND ENVIRONMENTAL VALUES OF MUSHROOMS *PLEUROTUS OSTREATUS*

We present the literature review describing food, medicinal and ecological properties of the fungus *Pleurotus ostreatus* (oyster mushroom). It is shown that the mushroom is adequate foodstuff for human beings. It provides with proteins, carbohydrates, fats, vitamins and mineral salts. Protein of the oyster mushrooms' mycothallus contains 18 amino acids, eight of which were essential (isoleucine, leucine, lysine, methionine, phenylalanine, tryptophan, threonine, and valine). Therapeutic value of the mushroom is characterised by a content of water-soluble (thiamine B_1 , riboflavin B_2 , niacin, B_3 , PP , pyridoxine B_6 , biotin B_7 ,

ascorbic and pantothenic acid) and liposoluble (calciferol, ergosterol, tocopherol) vitamins. The considerable gains from the farm wastes use for the mushrooms raising with subsequent application of the substrate in plant cultivation and animal husbandry are stated.

Введение

В последние десятилетия интерес к грибоводству значительно возрос. Основная причина заключается в том, что во многих странах мира население испытывает дефицит в полноценном питании, прежде всего в белковом рационе. В этой связи можно отметить чрезвычайно высокую пищевую отдачу культивирования грибов [1]. Широкое распространение получила культура вешенки обыкновенной (*P. ostreatus*). По общему количеству биотехнологически производимой грибной продукции вешенка занимает третье место после трюфелей и шампиньонов. Гриб относительно легко поддается культивированию, устойчив к комплексу вредителей и болезней [9; 14]. С одного гектара грибной плантации за год можно получать до 80–100 тонн в пересчете на сухой белок. Для сравнения: продуктивность животноводства в тех же единицах составляет 63–65 кг, а рыбоводства – около 570 кг с гектара [23; 27]. Однако производство грибов – отрасль весьма сложная, требующая строжайшего соблюдения технологии, в некоторых случаях – недешевых технологических помещений и сложного оборудования [6; 10].

Цель настоящей работы – проанализировать данные литературы, описывающей питательную, лекарственную и экологическую ценность культивируемых грибов *Pleurotus ostreatus*.

Питательная ценность вешенки

Грибы – ценный пищевой продукт. В питании человека важную роль играют белки, жиры, углеводы, различные минеральные соли и витамины. Все эти вещества содержатся в грибах. По химическому составу съедобные грибы несколько отличаются от других продуктов. В них отсутствует растительный крахмал. Из группы углеводов в грибах содержится гликоген и сахара, которые придают им сладковатый привкус [22].

Вешенка – «чистый» гриб, не содержащий пестицидов, нитратов, солей тяжелых металлов. Содержание азота в вешенке – как в горохе, фосфора – как в рыбе, тиамина – как в капусте, биотина – в несколько раз выше, чем в яйцах и молоке, витаминов группы B – в 10 раз больше, чем в остальных продуктах питания, по белкам и углеводам это – первый среди грибов [11].

По содержанию белка и аминокислотному составу вешенка ближе к овощам, нежели к мясу. Индекс незаменимых аминокислот вешенки превосходит индекс аминокислот овощей, орехов, зерна и близок к индексу мяса и молока. В случае простой диеты вешенки могут быть незаменимым источником аминокислот для человеческого организма. Белок вешенки содержит все незаменимые аминокислоты. Степень усвояемости грибного белка достигает 90 %. На основании опытов показано, что 100–200 г грибов (по сухой массе) достаточно для обеспечения суточного питательного баланса у человека массой 70 кг [19].

Последние исследования показали, что 69–85 % общего азота в грибах находится в форме переваримого белка. Содержание белковых веществ в грибах, кроме видовых различий, зависит от таких факторов как возраст и питание. Шляпка вешенки накапливает белка почти в 2 раза больше, чем ножка. В молодых и старых грибах белка меньше, больше – у грибов со шляпкой 5–8 см. Кроме белка, в мякоти вешенки много других ценных для питания человека веществ. Это полный набор незаменимых аминокислот, таких как триптофан, цистин, аспарагиновая кислота, лизин, аланин, а также витаминов B₁, B₂, B₅, PP, H, C и др. [24]. По содержанию витаминов B₁ и B₂ мякоть ве-

шенки не уступает ржаному хлебу, по витамину *H* – яйцам и молоку. Витамин *PP* в ней столько же, сколько его в дрожжах, печени, а витамина *B₆* – не меньше, чем в сливочном масле. Наряду со связанными аминокислотами в плодовых телах съедобных грибов содержатся и свободные аминокислоты, которые принимают участие как в синтезе белка живой клетки, так и в других звеньях обмена веществ, обеспечивая синтез нуклеиновых кислот, нуклеотидов, ферментов, витаминов и т. д.

Грибы содержат многие минеральные вещества и ряд жирных кислот, необходимых человеку. Калорийность вешенки – 300 ккал/кг [15].

Содержание общего азота в вешенке обыкновенной составляет 2,4 %, общих белков – 15 %, железа – 0,0015 %, фосфора – 1,35 %, калия – 3,79 % (от сухой массы) [13].

Для характеристики питательной ценности вешенки важными являются сведения о наличии в ней биологически активных веществ различной природы. Известно, что в состав сырого жира входят специфические метаболиты – стерины, связанные с биогенезом жирных кислот. Среди стеринов имеются вещества, непосредственно обладающие биологической активностью. Например, в вешенке обнаружено до 12 веществ стериновой природы. В плодовых телах и культурном мицелии в качестве компонентов найдены эргостерин, фунгистерин, цервистерин [29].

В состав грибов входят азотистые вещества, в том числе белковые соединения. Азотистых веществ в них больше, чем в мясе, яйцах, горохе, ржи. Белковые вещества в грибах распределены неравномерно. В шляпках их больше, чем в ножках. Жиров содержится от 1 до 6 %. В их состав входят необходимые для человека компоненты: лицептин, провитамин *B*, а также некоторые жирные кислоты. Все они хорошо усваиваются организмом [16].

Наибольшее количество жиров содержится в плодоносном слое шляпки, меньше их в ножке. Грибы очень богаты экстрактивными веществами, придающими им своеобразный вкус и запах, а также ферментами, которые способствуют лучшей перевариваемости и усваиваемости пищи. Как правило, аромат грибов составляют сложные смеси летучих продуктов обмена. Грибной аромат многих съедобных базидиомицетов, в том числе вешенки, составляет группа алифатических альдегидов, кетонов, спиртов, среди которых наиболее часто идентифицируют октановые производные, а группа азотсодержащих соединений, включающая простые амины, амиды, аминокислоты, производные глутаминовой кислоты и другие, создает селедочный оттенок этого запаха [7].

Лечебная ценность вешенки

В плодовых телах культивируемой вешенки содержится множество биологически активных веществ, способных предупреждать и лечить широкий спектр заболеваний. Исследования показали, что высокое содержание чистого протеина (до 47,7 %) в плодовых телах вешенки способствует предупреждению и лечению гепатита, язвы желудка, снижает количество холестерина в крови, помогает нормализовать давление как у гипертоников, так и у гипотоников, оказывает противоопухолевое действие, повышает иммунную устойчивость организма [2].

Обладает вешенка и бактерицидным действием, способствует выведению из организма токсинов радиоактивных элементов. Спиртовые экстракты плодовых тел применяются при профилактике гипертонии, тромбоза, атеросклероза и некоторых других заболеваний. Грибы широко применяются в диетическом питании для тех, кто хочет похудеть, так как они надолго заполняют пищеварительный тракт и обеспечивают чувство сытости. При этом они обладают веществом, нормализующим уровень ли-

липидов в крови, которые, в свою очередь, способствуют снижению кровяного давления и уменьшению риска сердечно-сосудистых заболеваний [17].

По содержанию жиров вешенка превосходит все овощные культуры – 5,4 % липидов. Причем в значительных количествах присутствуют стерины, фосфатиды, эфирные масла и полиненасыщенные жирные кислоты, которые не могут синтезироваться в организме человека и являются незаменимыми. Эти кислоты обеспечивают нормальный рост тканей и обмен веществ, препятствуют отложению холестерина.

Следующим важным компонентом являются углеводы (43,9 %). Основная их часть, входящая во фракцию клетчатки, нормализует деятельность кишечной микрофлоры и способствует выведению из организма холестерина и различных токсических веществ [21].

Содержатся в данном грибе органические кислоты и ферменты, способствующие расщеплению жиров и гликогена. По содержанию витаминов вешенка находится на уровне мясopодуков, а по количеству пантотеновой кислоты превосходит овощи, фрукты, мясо, молоко и рыбу. По содержанию биотина вешенка – один из самых богатых этим витамином продуктов (8–76 мкг/100 г). По содержанию витамина *PP*, способствующего улучшению кровообращения, препятствующего возникновению тромбов в сосудах и улучшающего деятельность печени и желудка, вешенке нет равных среди культивируемых грибов. Кроме перечисленных витаминов, в плодовых телах вешенки содержатся витамины *C*, *D*₂, *E* [20].

В вешенке содержится до 7–8 % минеральных веществ. Это калий, регулирующий работу сердечной мышцы, фосфор, участвующий в обмене веществ и входящий в состав белков и нуклеиновых кислот, железо, принимающее участие в образовании гемоглобина и ряда ферментов, а также кальций, кобальт, медь, натрий и ряд других элементов, необходимых человеческому организму.

Вешенка обладает антисклеротическим действием. Одним из достоинств этого гриба является высокое содержание полисахаридов, которые отвечают за противораковое действие продукта. Вешенка по содержанию противоопухолевых активных веществ стоит на третьем месте после шиитакэ и опенка летнего. Еще в древней японской и китайской литературе говорилось, что регулярное употребление подобного гриба оказывает благоприятное воздействие на людей, снижает кровяное давление и тонизирует нервную систему [17]. В настоящее время медицинское применение вешенок не ограничивается использованием в пищу плодовых тел. Широко распространено изготовление лечебных препаратов на их основе. Снижение уровня липидов в крови, противоопухолевая активность, антибактериальные, противопаразитарные и антиаллергические свойства, восстановление функций нервной системы – это как раз те качества, которые делают вешенку незаменимым продуктом в нашем рационе.

В приведенной ниже таблице показано содержание аминокислот в плодовых телах вешенки обыкновенной [5].

Химический состав плодовых тел вешенки обыкновенной представлен в следующем виде: сырой протеин – 32,6 %, истинный белок – 22,0 %, зола – 5,4 %, липиды – 5,4 %, углеводы – 43,9 % [25]. Главной составной частью золы плодовых тел гриба являются окиси калия и фосфора. Фосфор входит в состав белков и принимает активное участие в энергетическом балансе организма. Калий участвует в поддержании кислотно-щелочного равновесия организма и способствует регулированию содержания воды в клетках [28].

Содержание аминокислот в плодовых телах вешенки обыкновенной

Аминокислоты		Содержание, % на сырой вес		
		ножка	шляпка	гимений
Незаменимые	лизин	0,50	0,26	0,40
	гистидин	0,12	0,07	0,70
	аргинин	1,39	0,14	0,29
	валин	0,22	0,13	0,52
	изолейцин	0,19	0,17	0,44
	лейцин	0,31	0,18	0,35
Заменимые	аспаргин	0,58	0,40	0,63
	треонин	0,27	0,14	1,40
	глутаминовая кислота	0,57	0,32	1,05
	пролин	0,16	0,11	0,31
	тирозин	0,14	0,08	0,28
	фенилаланин	0,18	0,10	0,35
	аланин	0,24	0,14	0,44
	серин	0,22	0,13	0,39

Экологическая ценность вешенки

Экологическая ценность вешенки обыкновенной заключается прежде всего в возможности использования в качестве субстрата отходов различных отраслей промышленности и сельского хозяйства. При плантационном разведении для вешенки подходят пни лиственных (клена, дуба, бука, ивы) и хвойных (ели, сосны, кедра) пород деревьев [3]. Плантационное разведение дает возможность обеспечить биологическое раскорчевывание пней. В то же время осуществляется биологическая защита пней и прилегающих лесных массивов, склонных к повреждению небезопасным и широко распространенным возбудителем болезней сосны – грибом корневая губка [8]. Плантационное разведение позволяет предотвратить поражение лиственных и хвойных деревьев от пеньковой инфекции, которая вызывается опенком осенним настоящим. Приусадебное разведение вешенки на низкосортной древесине в виде брусков дает возможность ускорить процесс природной деструкции и минерализации [4].

Сбор грибов с плантаций дает возможность пополнять и совершенствовать рацион человека. С экологической точки зрения таким образом образуются экосистемы, которые регулируются усилиями человека в ограниченном объеме [26].

Актуальной проблемой сельского хозяйства является получение высокобелковых кормов для животных. С этой целью используется субстрат после сбора урожая вешенки. Этот гриб, разрушая в процессе роста наиболее труднопереваримые животными целлюлозу и лигнин, способствует обогащению растительных субстратов углеводами, аминокислотами, витаминами, минеральными элементами. Переваримость пшеничной соломы через 90 суток культивирования на ней вешенки увеличивается на 10–20 % и становится аналогичной переваримости качественного сена. Субстрат, пропитанный только белой грибницей вешенки с приятным грибным запахом, применяют как добавку в корм. Проведенные в Институте ботаники им. Н. Г. Холодного НАН Украины опыты по использованию в качестве кормов субстрата, состоящего из осиновых опилок (90 %) и пшеничной соломы (10 %), показали, что такая 2,5 % добавка к суточному рациону цыплят повышает прирост живой массы на 5 %. По содержанию треонина и лизина данный субстрат после плодоношения вешенки превосходит кукурузу, овес, просо, по количеству валина – рожь, сорго, ячмень, горох. Он был более насыщен

железом, чем большинство зерновых культур, за исключением проса. Такая кормовая добавка обогащена витаминами [12].

Большую ценность для получения заменителя кедровой древесины при производстве карандашей представляет собой древесина бука после экстенсивного культивирования на ней вешенки [30].

Даная схема показывает два варианта приобщения отходов лесного, сельского хозяйства и перерабатывающих отраслей. Первый – это природная деградация, сжигание или компостирование. Следствие – загрязнение биосферы.

Второй вариант заключается в использовании отходов как субстрата для культуры вешенки. Он представляет собой безотходную микотехнологию. Параллельно с получением пищевого продукта ценным является и отработанный субстрат, который может найти применение в виде микокорма, микоудобрения или микосубстрата для вермикультуры [18; 20].

Выводы

Питательная ценность *Pleurotus ostreatus* определяется как химическим составом компонентов, входящих в состав грибов, так и степенью их усваиваемости человеком. По содержанию белка и составу аминокислот грибы ближе к овощам, чем к мясу. По соотношению ненасыщенных и насыщенных жирных кислот липиды съедобных грибов близки к растительным маслам. Грибы содержат многие минеральные вещества и ряд жирных кислот, необходимых человеку. Калорийность вешенки – 300 ккал/кг. Содержание общего азота в вешенке обыкновенной составляет 2,4 %, общих белков – 15 %, железа – 0,0015 %, фосфора – 1,35 %, калия – 3,79 % от сухой массы.

В большом ряде исследований показано, что лечебная ценность грибов характеризуется содержанием водорастворимых и жирорастворимых витаминов. Обладает вешенка и бактерицидным действием, способствует выведению из организма токсинов радиоактивных элементов. Спиртовые экстракты плодовых тел применяются при профилактике гипертонии, тромбозов, атеросклероза и некоторых других заболеваний.

Особо следует отметить, что отработанный субстрат – прекрасная белково-витаминная добавка к кормам для крупного рогатого скота, свиней и птиц. Добавление обогащенной белком вешенки соломы в рацион питания животных усиливает их иммунитет к болезням, улучшает обмен веществ. Отработанный субстрат может использоваться как удобрение под овощные, ягодные и плодовые культуры.

Библиографические ссылки

1. Бисько Н. А. Выращивание съедобных грибов (рекомендации по выращиванию шампиньонов, вешенки) / Н. А. Бисько, В. Т. Билай, Н. Ю. Митропольская. – К. : Знание, 2000. – 42 с.
2. Бисько Н. А. Лекарственные грибы – для здоровья и красоты / Н. А. Бисько, Н. Ю. Митропольская, Э. Ф. Соломко. – К. : Наукова думка, 2003. – 40 с.
3. Бисько Н. А. Разложение древесины различных пород в процессе роста вешенки (*Pleurotus ostreatus*) / Н. А. Бисько, В. Т. Билай, Э. К. Чурикова // Микология и фитопатология. – 1984. – № 6. – С. 435–439.
4. Бисько Н. А. Разрушение древесины грибом *Pleurotus ostreatus* / Н. А. Бисько, В. И. Фомина, В. Т. Билай // Микология и фитопатология. – 1983. – № 3. – С. 199–202.
5. Бисько Н. А. Рекомендации по выращиванию шампиньонов и вешенки / Н. А. Бисько, В. Т. Билай, Н. Ю. Митропольская. – К. : ООО МКПГ «Грибы», 2001. – 38 с.
6. Ботаника. Водоросли и грибы / И. Ю. Костиков, В. В. Джаган, Е. М. Демченко и др. – К. : Аристей, 2006. – С. 225–442.

7. **Бухало А. С.** Каталог колекції культур шапинкових грибів / А. С. Бухало, Н. Ю. Митропольська, О. Б. Михайлова. – К. : Славутич-Дельфін, 2006. – 36 с.
8. **Бухало А. С.** Культивирование съедобных и лекарственных грибов / А. С. Бухало, Н. А. Бисько, Э. Ф. Соломко. – К. : Урожай, 2004. – 128 с.
9. **Вассер С. П.** Флора грибов Украины. Базидиомицеты. Аманитальные грибы. – К. : Наукова думка, 1992. – 167 с.
10. **Тищенко А. Д.** Выращивание вешенки в агрокомбинате «Пуща-Водица» // Школа грибоводства. – 2003. – № 6. – С. 7–11.
11. **Гарибова Л. В.** Выращивание грибов. – К. : Вече, 2005. – 96 с.
12. **Питательная** ценность субстрата после культивирования съедобного гриба *Pleurotus ostreatus* / И. А. Дудка, В. Ф. Беккер, Н. А. Бисько и др. // Микология и фитопатология. – 1988. – № 5. – С. 399–404.
13. **Дудка І. О.** Гриби природних зон Криму / І. О. Дудка, В. П. Гелюта, Ю. Я. Тихоненко. – К. : Фітосоціоцентр, 2004. – 454 с.
14. **Карпов Ф. Ф.** Выращиваем грибы на садовом участке. – М. : Фитон+, 2008. – 64 с.
15. **Морозов А. И.** Выращивание вешенки. – Донецк : Сталкер, 2001. – 48 с.
16. **Морозов А. И.** Грибы: руководство по разведению. – Донецк : Сталкер, 2000. – 304 с.
17. **Морозов А. И.** Лекарственные грибы. – Донецк : Сталкер, 2003. – 207 с.
18. **Морозов А. И.** Разведение грибов. Мицелий / А. И. Морозов, А. А. Тимофеев. – М. : АСТ, 2001. – 43 с.
19. **Раптунович Е. С.** Искусственное выращивание съедобных грибов / Е. С. Раптунович, И. И. Федоров. – Минск : Вышэйшая школа, 1994. – 206 с.
20. **Сафрай А. И.** Производство мицелия в России // Школа грибоводства. – 2000. – № 1. – С. 2–5.
21. **Сафрай А. И.** Производство мицелия в России // Школа грибоводства. – 2000. – № 3. – С. 20–24.
22. **Тищенко А. Д.** Краткий обзор производства вешенки в России // Школа грибоводства. – 2003. – № 5. – С. 15–18.
23. **Buchalo A. S.** Catalogue of the culture collection of mushrooms / A. S. Buchalo, N. Y. Mitropolskaya. – K. : Osnova, 2001. – 32 p.
24. **Carlile M. J.** The Fungi / M. J. Carlile, S. C. Watkinson, G. W. Gooday. – 2th ed. – New York : Acad. Press, 2001. – 588 p.
25. **Deacon J. W.** Fungal biology. – 4th ed. – Edinburgh : Blackwell Publishing Ltd., 2006. – 380 p.
26. **Fungi of Ukraine.** A preliminary checklist / T. V. Andrianova, I. O. Dudka, V. P. Hayova et al. – K. : Egham International Mycological Institute, 1996. – 361 p.
27. **Introduction to Fungi** / J. Webster, R. Weber. – 3rd ed. – Edinburgh : Cambridge University Press, 2007. – 863 p.
28. **Kirk P. M.** Ainsworth & Bisby's Dictionary of the Fungi / P. M. Kirk, P. F. Cannon, D. W. Minter et al. – 10th ed. – Wallingford (UK): CABI Europe-UK, International Mycological Institute, M. G. Kholodny Institute of Botany NASU, 2008. – 771 p.
29. **Minter D. W.** Mycology in Ukraine / D. W. Minter, I. O. Dudka, T. V. Andrianova et al. – CD: PDMS Publishing, 2003. – 826 p.
30. **Kiffer E.** The Deuteromycetes (mitosporic fungi): Classification and generic keys / E. Kiffer, M. Morelet. – New York : Science Publishers Inc, 2000. – 300 p.

Надійшла до редколегії 28.07.2010

УДК 595.762.12:504.064

В. В. Болгарін

Нікопольський інститут Запорізького національного університету

**ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ ПОПУЛЯЦІЙ
ТУРУНІВ-МІКСОФІТОФАГІВ В УМОВАХ
ПРОМИСЛОВОГО МІСТА (НА ПРИКЛАДІ м. НІКОПОЛЬ)**

Вивчено вплив абіотичних факторів на види *Amara*, *Ophonus*, *Harpalus* у міському середовищі. Проаналізовано особливості розподілу турунів за районами м. Нікополь. З'ясовано дію проїзної частини на життєдіяльність імаго жужелиць родів *Amara*, *Ophonus*, *Harpalus* у м. Нікополь. Встановлено перевагу природних факторів над антропогенними для існування мезофауни у м. Нікополь.

В. В. Болгарин

Никопольский институт Запорожского национального университета

**ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПУЛЯЦИЙ
ЖУЖЕЛИЦ-МИКСОФИТОФАГОВ В УСЛОВИЯХ
ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ г. НИКОПОЛЬ)**

Изучено воздействие абиотических факторов на виды *Amara*, *Ophonus*, *Harpalus* в городской среде. Проанализированы особенности распределения жужелиц по районам г. Никополь. Выявлено влияние проезжей части на жизнедеятельность имаго жужелиц родов *Amara*, *Ophonus*, *Harpalus* в г. Никополь. Установлено преимущество природных факторов над антропогенными для существования мезофауны в г. Никополь.

V. V. Bolgarin

Nikopol Institute of Zaporizhzhya National University

**SPATIAL DISTRIBUTION OF THE GROUND BEETLES POPULATIONS
IN INDUSTRIAL CITIES (ON THE EXAMPLE OF NIKOPOL)**

The influence of abiotic factors on species of *Amara*, *Ophonus*, *Harpalus* in the urban environment has been studied. The features of the ground beetles distribution in the districts of Nikopol have been analysed. The influence of roadway on the vital functions of ground beetles has been cleared up. Quantitative data of *Amara*, *Ophonus*, *Harpalus* numbers in the town of Nikopol have been discussed. The advantage of natural factors over anthropogenic ones for the existence of soil mesofauna in industrial town has been established.

Вступ

Прогресуюча урбанізація – об'єктивне явище сучасної цивілізації, яке призводить до локальної інтенсифікації антропогенних факторів, необоротних змін природних біогеоценозів [5; 8]. Район досліджень – м. Нікополь – розташований на правому березі р. Дніпро в межах південної частини Дніпропетровської області. Нікополь належить до найбільш індустріально розвинених міст України [15]. У структурі промисловості переважають екологічно небезпечні виробництва:

1) металургійної галузі (ВАТ «Нікопольський завод феросплавів», ЗАТ «Нікопольський завод нержавіючих труб», НВО «Трубосталь», ВАТ «Нікопольський завод трубопровідної арматури»);

2) галузі машинобудування (НВО «Кранобудівний завод»);

3) комунальні підприємства (Нікопольське КП «Західне»).

Якість навколишнього середовища Нікополя визначається забрудненням повітряного та водного басейнів, міських ґрунтів, переробкою й утилізацією відходів, деградацією зелених насаджень тощо [1; 15].

Проїзна частина надає різні види впливів на тваринний світ: туруни гинуть під час руху транспорту та під дією підвищеної температури на асфальті (не маючи змоги сховатися у ґрунт). Дорога ізолює місця існування Carabidae одне від іншого. Транспортні викиди та інші полютанти впливають на фауну узбіч, так що тут можуть виникати нові асоціації – так звані антропогенні зональні зооценози [2; 20–22].

Абіотичні фактори у межах проїзної частини суттєво відрізняються від інших територій (сильне прогрівання, посилений поверхневий стік, слабе випаровування) і створюють особливі мікрокліматичні градієнти освітленості, температури поверхні ґрунту та випаровування [5; 6; 14]. Вочевидь, існує такий ланцюг дій: зміна абіотичних факторів під впливом проїзної частини > зміна рослинних угруповань > формування зональних зооценозів під впливом специфічних механічних впливів і шкідливих викидів.

Жужелиці (Coleoptera, Carabidae) – надійні індикатори екологічного режиму, важливий компонент фауни більшості наземних екосистем. До нових умов середовища туруни переходять із тими екологічними характеристиками, які вони придбали у ході адаптивної еволюції в інших природних екосистемах [2; 3; 10].

Мета цієї роботи – оцінити чисельність і особливості просторового розподілу турунів-міксофітофагів у місті Нікополь.

Матеріал і методи досліджень

Нікополь розташований у степовій зоні України з континентальним кліматом [1; 11]. Це, безумовно, впливає на вологість ґрунту, видове різноманіття трав'яних угруповань, розподіл сонячної радіації та інші природні фактори [15]. При проведенні досліджень у м. Нікополь розглядали значимість різних факторів для домінантної групи підстилкової мезофауни – турунів. Із природних факторів – це проективне покриття рослинності, видове багатство травостою, вологість ґрунту, тривалість існування біоценозу, з антропогенних – частота косіння травостою, ступінь рекреації, рівень забруднення атмосферного повітря та ґрунту [6; 20; 21]. Жуків збирали в межах Нікополя в 2009 р. у різних районах міста (рис.).

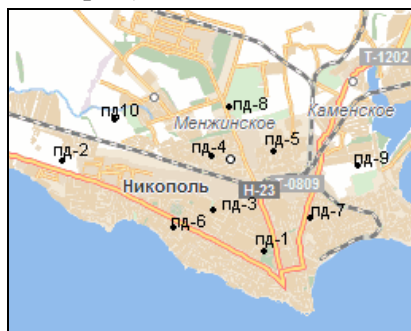


Рис. Схема розташування пробних ділянок (ПД-1–10) на території м. Нікополь Дніпропетровської області

Обстежено такі пробні ділянки (ПД): ПД 1 розташована у парковій зоні центру міста, ПД 2 – парк на околиці, ПД 3, 4 та 5 – спортивні майданчики, ПД 6, 7 та 8 – узбіччя доріг, ПД 9 і 10 – рудеральні угруповання на околиці міста. Жуків збирали за стандартною методикою пастками Барбера (фіксатор – 20 % розчин *NaCl*) на початку літа та восени [18].

Результати та їх обговорення

Видове різноманіття турунів міських парків Нікополя підвищується зі збільшенням проективного покриття рослинності та кількості видів у травостої. Високий рівень рекреації на різних площах знижує чисельність видів карабідофауни [8; 23]. Окрему позицію займають місця проживання турунів поблизу дороги. Нікополь, як і будь-яке промислове місто, отримує різноманітну масу викидів. Узбіччя доріг зазнає впливу комплексу шкідливих факторів, наприклад солі (яку використовують для танення снігу взимку), пилу, важких металів (марганцю, нікелю, свинцю тощо), фотосмогу [2; 11; 16].

При аналізі чисельності турунів виявлене зменшення ступеня домінування багатьох видів від околиць до центру міста. Причинами можна вважати перш за все збіднення кормового раціону, зниження різноманіття місць існування, а у деяких груп – підвищення смертності під впливом антропогенних чинників. Відзначається збіднення фауни через наявність зелених масивів на околицях до зони суцільної забудови центру міста. У місті зустрічалась більша частина видів, притаманна Дніпропетровській області [3]. Найчисельнішими виявились *Amara chaudierei* Putzeys, 1858, *A. similata* (Gyllenhal, 1810), *Zabrus tenebrioides* (Goeze, 1777), *Harpalus griseus* (Panzer, 1797), *H. rufipes* (De Geer, 1774). Кожен рід має свої трофічні зв'язки, пристосовані під живлення у місті. Слід відзначити, що приблизно половину площі м. Нікополь займають приватні домоволодіння, на території яких розташовані городи та сади, де й існує велика частина турунів.

Рід *Amara* широко використовує трофічні ресурси даного регіону. *A. aenea* (De Geer, 1774) та *A. municipalis* (Duftschmid, 1812) зустрічаються більше на околицях, де поширені дикорослі трави, що входять до їх раціону (злаки, осокові, гвоздичні, хрестоцвітні, айстрові). Часто трапляються *A. ingenua* (Duftschmid, 1812), *A. ovata* (Fabricius, 1792), *A. fulva* (O. Muller, 1776), *A. similata*, *A. eurynota* (Panzer, 1797), які споживають городні культури (редис, салат, молоді пагони картоплі, молоду капустяну розсаду, горох, квасолю, суниці тощо), зернові (пшеницю, жито, кукурудзу), падалиці у фруктових садах [4; 7; 13].

Zabrus tenebrioides і *Z. (Pelor) spinipes steveni* Fischer von Waldheim, 1817 – шкідники, поширені по всій степовій зоні. На околицях Нікополя вони ушкоджують зернові (пшеницю, жито, кукурудзу, овес), технічні (соняшник, буряк), городні (салат), кормові культури та деякі види дикорослих злаків [4; 13; 17].

Ophonus puncticollis (Paykull, 1798) і *O. ruficornis* (Sturm, 1818) в умовах міста поїдають генеративні органи зернових (ячмінь, гречка), технічні (гірчиця), овочеві (салат) і лікарські (звіробій) культури [4].

Harpalus rufipes і *H. zabroides* Dejean, 1829 живляться зерновими (пшениця, жито, просо, овес, кукурудза, ячмінь, гречка), шкодять бурякам, деяким городнім культурам, виїдають плоди суниці та падалицю в садах. *H. picipennis* (Duftschmid, 1812) спорадично ушкоджує насіння зернових (пшениця, просо), лікарських (подорожник великий, спаржа лікарська), городніх культур (морква), ягоди суниці. У місті часто зустрічається *H. affinis* (Schrank, 1781), при цьому він шкодить зернобобовим (горох), технічним (буряк, гірчиця, льон), лікарським (подорожник великий) і городнім (салат,

огірки) культурам. З інших рослин пошкоджує суницю, дикорослі злаки. *H. fuscipalpis* (Sturm, 1818) трапляється рідко внаслідок того, що з міського раціону може вживати тільки падалиці в садах [4; 7; 13].

Наявність у м. Нікополь великої кількості металургійних, хімічних, комунальних підприємств, близькість Каховського водосховища та інші фактори підвищують рівень забруднення атмосферного повітря, води та ґрунту, впливаючи на біологічне різноманіття та, зокрема, на фауну турунів [1]. У порядку зменшення впливу фактори можна розташувати таким чином: 1) вологість ґрунту; 2) частота косіння травостою; 3) тривалість існування біоценозу; 4) проективне покриття; 5) ступінь рекреації; 6) рівень забруднення атмосферного повітря; 7) рівень забруднення ґрунту.

Висновки

Кількість видів турунів зростає від центру до околиць міста. Близькість проїзної частини зменшує їх чисельність. Вологість ґрунтового покриву, тривалість існування біоценозу, частота косіння травостою – найвпливовіші фактори міського середовища для життєдіяльності турунів в умовах м. Нікополь.

Найбільшої чисельності у межах міста досягають *Amara aenea*, *A. ingenua*, *A. ovata*, *A. similata*, *A. eurynota*, *Zabrus tenebrioides*, *Z. spinnipes*, *Harpalus rufipes*, *H. griseus*, *H. picipennis*. Це свідчить про велику екологічну пластичність цих видів, їх здатність переносити несприятливі умови штучних урбоценозів.

Такі розповсюджені у степу види як *Harpalus affinis*, *Ophonus puncticollis* трапляються у міському середовищі дуже рідко. Цей факт свідчить про слабку їх можливість пристосовуватись до змін, які відбуваються у промисловому місті.

Бібліографічні посилання

1. Болгарін В. В. Антропогенний вплив на мезофауну Нікопольського району Дніпропетровської області // Биоразнообразие и роль животных в экосистемах. Матер. V Междунар. научн. конф. – Д. : Лира, 2009. – С. 141–142.
2. Бригадиренко В. В. Вплив автомагістралі на окремі компоненти герпетобіоти штучних лісонасаджень Дніпропетровської області / В. В. Бригадиренко, О. С. Черниш // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Біологія. Екологія. – 2003. – Вип. 11, т. 1. – С. 76–84.
3. Бригадиренко В. В. Фауна жужелиц (Coleoptera, Carabidae) Днепропетровской области // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – Вып. 3. – Донецк : ДонНУ, 2003. – С. 77–86.
4. Вредители сельскохозяйственных культур и лесных насаждений / Под ред. В. П. Васильева. – К. : Урожай, 1973. – Т. 2. – 362 с.
5. Еремеева Н. И. Население жужелиц городских газонов / Н. И. Еремеева, Н. А. Коровина, Н. И. Савосин // Экология фундаментальная и прикладная. Проблемы урбанизации. Матер. Междунар. научн.-практ. конф. – Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2005. – С. 123–125.
6. Коровина Н. А. Население жужелиц (Coleoptera, Carabidae) в промышленной зоне г. Кемерово. Видовой состав и структура доминирования // Сб. трудов молодых ученых КемГУ, посвященный 30-летию Кемеровского гос. ун-та. – Кемерово : Полиграф, 2004. – Вып. 4. – С. 254–255.
7. Крыжановский О. Л. Жуки подотряда Adephaga: сем. Rhysopidae, Trachypachyidae; сем. Carabidae (вводная часть, обзор фауны СССР). – Л. : Наука, 1983. – 341 с.
8. Клауснитцер Б. Экология городской фауны. – М. : Мир, 1990. – 246 с.
9. Кульбачко Ю. Л. Особенности накопления тяжелых металлов жужелицами в биогеоценозах, подверженных химическому загрязнению // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Біологія. Екологія. – 1998. – Вип. 4. – С. 63–68.

10. **Лапин Е. И.** Индикация техногенных загрязнений по фаунистическим комплексам жесткокрылых / Е. И. Лапин, С. В. Израилевич // Сб. работ X съезда Всесоюзн. энтомол. о-ва. – Л. : ЛГУ, 1989. – С. 75–77.
11. **Національна доповідь** про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2003 р. – К., 2004. – 227 с.
12. **Пучков А. В.** Обзор карабидофауны (Coleoptera, Carabidae) Украины и перспективы ее изучения // Вестник зоологии. – 1998. – Отд. вып. № 9. – С. 151–154.
13. **Сумароков А. М.** Материалы к видовому составу фауны жесткокрылых (Insecta: Coleoptera) Днепропетровской области // Пробл. экологии и охраны природы техногенного региона. – Донецк : ДонНУ, 2004. – Вып. 4. – С. 131–142.
14. **Тимофеева Г. А.** Популяционные аспекты экологии жуужелиц в условиях большого города (на примере г. Казани) / Г. А. Тимофеева, Р. А. Суходольская // Современные проблемы эволюции. XXII Люблинские чтения. – Ульяновск, 2008. – Т. 2. – С. 249–252.
15. **Пасічний Г. В.** Фізична та економічна географія Дніпропетровської області. – Д. : ДДУ, 1992. – 77 с.
16. **Цветкова Н. М.** Вміст і поширення купруму у природних і антропогенних ґрунтах степового Придніпров'я // Н. М. Цветкова, А. О. Дубіна, С. М. Замліла // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Біологія. Екологія. – 2009. – Вип. 17. – С. 106–114.
17. **Шарова И. Х.** Жизненные формы жуужелиц (Coleoptera, Carabidae). – М. : Наука, 1981. – 360 с.
18. **Barber H. S.** Traps for cave-inhabiting // J. Elish. Mitcell. Sci. Sos. – 1931. – Vol. 46, N 3. – P. 259–266.
19. **Loreau M.** Occupation of space by the carabid beetle *Abax ater* / M. Loreau, C.-L. Nolf // Acta Oecologica. – 1993. – Vol. 14. – P. 247–258.
20. **Magura T.** Time-consistent rearrangement of carabid beetle assemblages by an urbanisation gradient in Hungary / T. Magura, G. L. Lövei, B. Tóthmérész // Acta Oecologica. – 2008. – Vol. 34. – P. 233–243.
21. **Magura T.** A species-level comparison of occurrence patterns in carabids along an urbanisation gradient / T. Magura, G. L. Lövei, B. Tóthmérész // Landscape and Urban Planning. – 2008. – Vol. 86. – P. 134–140.
22. **Magura T.** Body size inequality of carabids along an urbanisation gradient / T. Magura, G. L. Lövei, B. Tóthmérész // Basic and Applied Ecology. – 2006. – Vol. 7. – P. 472–482.
23. **Thiele H.-U.** Carabid beetles in their environments. A study on habitat selection by adaptations in physiology and behaviour. – Berlin : Springer, 1977. – 370 p.

Надійшла до редколегії 09.04.2010

УДК 579.852.11:632.937

О. А. Дрегваль, Н. В. Черевач, А. І. Вінніков

Дніпропетровський національний університет ім. Олеса Гончара

**ПОДБІР ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ КИСЛОТНОСТІ СЕРЕДОВИЩА
ТА АЕРАЦІЇ ПРИ ГЛИБИННОМУ КУЛЬТИВУВАННІ
BACILLUS THURINGIENSIS ТА *BEAUVERIA BASSIANA***

Досліджено вплив кислотності середовища та інтенсивності аерації на ріст та спороутворення *Bacillus thuringiensis* та *Beauveria bassiana* – основних компонентів комплексного мікробного інсектицидного препарату «Бактофунгін». Оптимальним значенням початкового *pH* середовища для *B. thuringiensis* є 7,0, для *B. bassiana* – 6,0–7,0. Максимальна продуктивність досліджуваних мікроорганізмів спостерігалась в одному діапазоні аерації – 7–14 ммоль O_2 /л/год. Підібрані умови культивування необхідні для отримання комплексного біопрепарату на основі асоціації *B. thuringiensis* та *B. bassiana*.

О. А. Дрегваль, Н. В. Черевач, А. И. Винников

Днепропетровский национальный университет им. Олеса Гончара

**ПОДБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ КИСЛОТНОСТИ СРЕДЫ
И АЭРАЦИИ ПРИ ГЛУБИННОМ КУЛЬТИВИРОВАНИИ
BACILLUS THURINGIENSIS И *BEAUVERIA BASSIANA***

Изучено влияние кислотности среды и интенсивности аэрации на рост и спорообразование *Bacillus thuringiensis* и *Beauveria bassiana* – основных компонентов комплексного микробного инсектицидного препарата «Бактофунгин». Оптимальным значением начального *pH* среды для *B. thuringiensis* является 7,0, для *B. bassiana* – 6,0–7,0. Максимальная продуктивность исследуемых микроорганизмов наблюдалась в одном диапазоне аэрации – 7–14 ммоль O_2 /л/ч. Подобранные условия культивирования необходимы для получения комплексного биопрепарата на основе ассоциации *B. thuringiensis* и *B. bassiana*.

О. А. Dregval, N. V. Cherevach, A. I. Vinnikov

Oles' Honchar Dnipropetrovsk National University

**SELECTION OF OPTIMUM CONDITIONS OF MEDIUM ACIDITY
AND AERATION FOR SUBMERGET CULTIVATION OF
BACILLUS THURINGIENSIS AND *BEAUVERIA BASSIANA***

The paper deals with the influence of medium *pH* and aeration rate on growth and sporulation of *Bacillus thuringiensis* and *Beauveria bassiana*, which are main constituents of the complex microbial insecticide. It was established optimal medium *pH* for *B. thuringiensis* – 6.0 and for *B. bassiana* – 6.0–7.0. The maximum productivity of the studied microorganisms was observed in the same range of aeration – 7–14 mmol O_2 /l/h. The selected conditions of cultivation are necessary for the production of complex biological insecticide based on the association of *B. thuringiensis* and *B. bassiana*.

Вступ

Найбільш розповсюджені мікроорганізми, яких використовують як засоби боротьби з комахами-шкідниками – ентомопатогенні бактерії *Bacillus thuringiensis* та гриби *Beauveria bassiana*. Промислове культивування *B. thuringiensis* направлене на отримання високого виходу спорокристалічного комплексу, а *B. bassiana* – на отримання конідій (при поверхневому способі культивування) чи бластоспор (при глибинному культивуванні), що визначає інсектицидну активність препаратів. Перевагу віддають глибинному культивуванню, оскільки накопичення спорового матеріалу відбувається за короткий час і дозволяє легко підтримувати стерильність виробництва [3]. Крім складу живильного середовища велике значення для росту та спороутворення мікроорганізмів мають інтенсивність аерації та початкове значення *pH* живильного середовища.

Відомо, що *B. thuringiensis* належить до факультативних анаеробів. Літературні дані стосовно потреб у кисні на різних стадіях культивування цих бактерій неоднозначні. За даними одних авторів, відбувається різке збільшення газообміну на початку експоненціальної стадії росту [1], за іншими – під час спороутворення використовується більше кисню, ніж в експоненціальній фазі [4]. Деякі автори пропонують підтримувати інтенсивність аерації на постійному рівні протягом усього процесу культивування [11], хоча існують і технології східчастих режимів, коли аерацію змінюють залежно від потреб культури у кисні [1; 4]. Відносно початкового *pH* живильного середовища відомо, що для бактерій групи *B. thuringiensis* воно повинно знаходитись у діапазоні 6,5–7,3, але повідомлялось про існування кислотостійких варіантів штамів, які добре ростуть при *pH* 5,2–6,0 [7; 9]. Із літературних джерел відомо, що збудник білої мускардини *B. bassiana* – аеробний організм, проте вплив аерації на накопичення бластоспор при глибинному культивуванні досліджено недостатньо. Більшість штамів цих грибів ростуть у діапазоні *pH* від 5,0 до 8,0 з оптимумом у кислій області (5,0–5,6), але існують штами, для яких оптимальним значенням *pH* є 6,0–7,0 [5; 8; 10].

Мета даної роботи – підібрати оптимальні значення початкового *pH* середовища та інтенсивність аерації при глибинному культивуванні *B. thuringiensis* та *B. bassiana* – продуцентів комплексного інсектицидного біопрепарату «Бактофунгін».

Матеріал і методи досліджень

У роботі використовували штами ентомопатогенних бактерій *B. thuringiensis* B-10 (ІМВ В-7186) та грибів *B. bassiana* F-6 (ІМВ F-100043) із колекції культур мікроорганізмів кафедри мікробіології та вірусології ДНУ ім. Олеса Гончара. Бактерії та гриби вирощували в середовищі такого складу (%): зелена патока – 1,5, кукурудзяний екстракт – 1,3, гумат – 0,44, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ – 0,232, K_2HPO_4 – 0,051. Початкове значення *pH* середовища встановлювали додаванням розчинів соляної кислоти або лугу. Вимірювання *pH* проводили за допомогою мілівольтметра (рН-121). Значення *pH*, що досліджували: 4,0, 5,0, 6,0, 7,0, 8,0. Інтенсивність надходження кисню змінювали за допомогою вирощування у різному об'ємі живильного середовища в конічних колбах на 500 мл і балонах на 1 л. Ступінь аерації оцінювали сульфітним методом [6]. Засів *B. thuringiensis* здійснювали нічною бульйонною культурою в кількості 1×10^7 кл./мл, *B. bassiana* – рідинною культурою, отриманою на глюкозо-крохмальному живильному середовищі у кількості 1×10^6 бластоспор/мл. Бактерії та гриби вирощували на мікробіологічній качалці (200 об./хв.) при температурі +28 °С. Концентрацію клітин *B. thuringiensis* визначали за допомогою методу нефелометрії на 22–24-й годині культивування. Вимірювали оптичну густину суспензій бактерій на фотоелектроколори-

метрі КФК-2МП при 540 нм, кількість клітин у 1 мл визначали за калібрувальним графіком. Відсоток ендоспор у культуральній рідині на кінець культивування визначали за допомогою мікроскопічного дослідження фіксованих і пофарбованих карболовим фуксином мазків. Кількість бластоспор *B. bassiana* в 1 мл культуральної рідини визначали підрахунком в камері Горяєва на третю та четверту добу вирощування. У кінці культивування вимірювали *pH* культуральної рідини.

Результати та їх обговорення

При початковому *pH* 4,0 ріст *B. thuringiensis* В-10 пригнічувався, ендоспори не утворювались (рис. 1а). При *pH* 5,0 відзначалось пригнічення росту протягом першої доби культивування, споруутворення починалось тільки через 40 год., а закінчувалось лише через 72 год., тоді як при *pH* 6,0–8,0 диференціація відбувалась у звичайний для цієї культури термін (20–48 год.). Слід зазначити, що досліджуваний штам виявився відносно кислотостійким, що пов'язано з підлогуванням середовища у процесі росту культури до *pH* 5,8 при початковому 5,0 та до 6,7 при початковому 6,0.

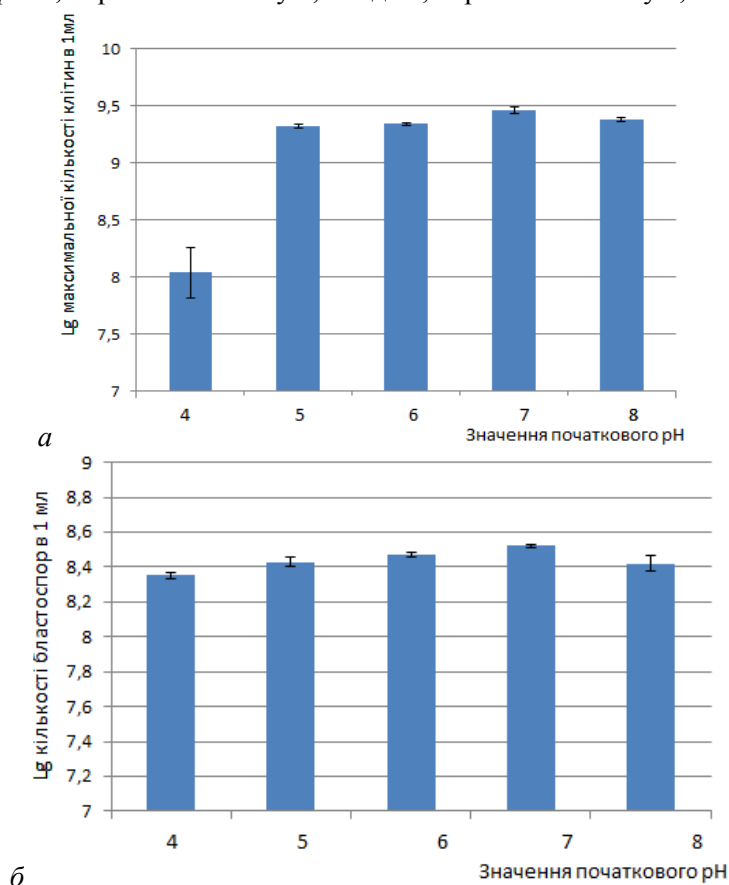


Рис. 1. Вплив початкового *pH* живильного середовища на накопичення клітин *B. thuringiensis* (а) та бластоспор *B. bassiana* (б)

Осадча зі співавторами [7] також повідомляли про існування кислотостійких варіантів штаму *B. thuringiensis* – продуцента біопрепарату «Бактокулід», які добре розвивалися при *pH* 5,2–6,0. Автори цієї роботи відмічали повніше використання основних компонентів живлення, збільшення виходу біомаси, синхронність споруутворення, високий вихід спорокристалічного комплексу при вирощуванні кислотостійких варіантів

у середовищі з кислим початковим значенням pH . У наших дослідженнях оптимальним pH для *B. thuringiensis* B-10 виявилось значення 7,0, при якому відбувалося найбільше накопичення клітин і повніший процес спороутворення. Утворення бластоспор *B. bassiana* F-6 відзначалося в усьому досліджуваному діапазоні pH (рис. 1б).

Кислі середовища гриб підлюговував, наближаючи значення pH до нейтрального, у нейтральному середовищі підлюговування було незначним, а в лужному відбувалося невелике підкислення. Оптимум pH для *B. bassiana* перебував у діапазоні 6,0–7,0, оскільки при цих значеннях кислотності утворювалося найбільше бластоспор.

Дослідження впливу інтенсивності аерації на ріст та спороутворення *B. thuringiensis* показало, що бактерії здатні рости в усьому діапазоні, який вивчався (5–65 ммоль O_2 /л/год.), але найбільша продуктивність культури відмічалася при вирощуванні від 7 до 14 ммоль O_2 /л/год. (рис. 2а).

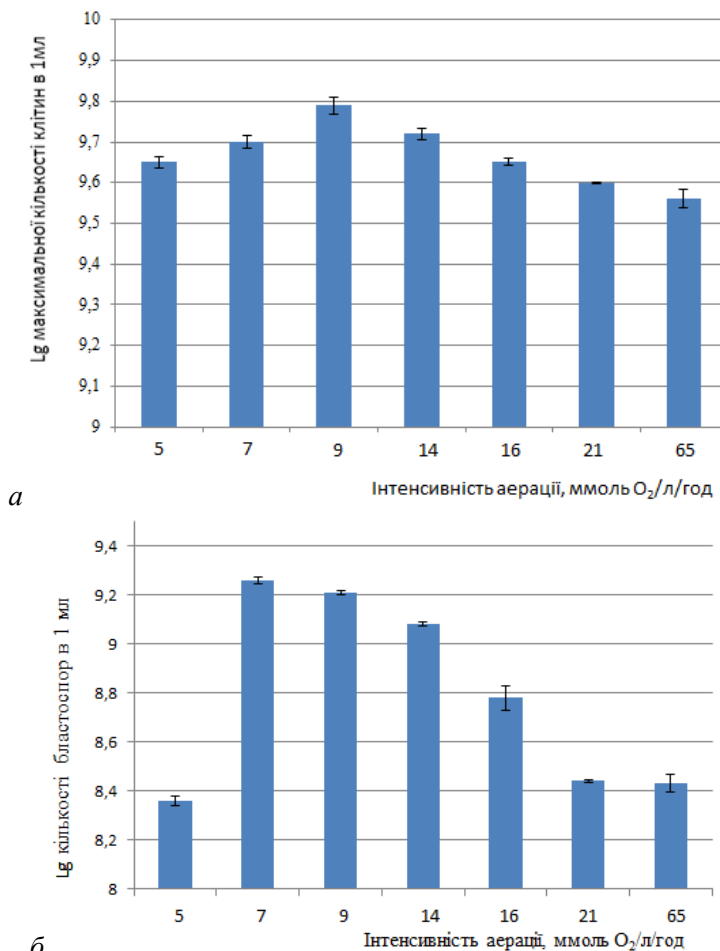


Рис. 2. Вплив інтенсивності аерації на накопичення клітин *B. thuringiensis* (а) та бластоспор *B. bassiana* (б)

Подальше збільшення інтенсивності аерації дещо знижувало накопичення клітин бактерій. Подібне явище спостерігали Ігнатенко зі співавторами при вирощуванні *B. thuringiensis* subsp. *galleriae* при рівні аерації вище 60 мг O_2 /л/хв. (112 ммоль O_2 /л/год.) [2]. Спороутворення *B. thuringiensis* B-10 відмічалось у всьому діапазоні аерації на рівні 93,0–95,2 %. Накопичення бластоспор *B. bassiana* в процесі культивуван-

ня відмічалось у всьому досліджуваному діапазоні аерації (рис. 2б). Найбільша продуктивність культури відмічалась при вирощуванні від 7 до 14 ммоль O_2 /л/год. Вищі рівні аерації (21 і 65 ммоль O_2 /л/год.), як і нижчі (5 ммоль O_2 /л/год.), знижували накопичення бластоспор.

Висновки

Оптимальним значенням початкового *pH* середовища для культивування штаму *Bacillus thuringiensis* B-10 (IMB B-7186) є 7,0, для *Beauveria bassiana* F-6 (IMB F-100043) – 6,0–7,0. Найбільша продуктивність досліджуваних бактерій і грибів спостерігається в одному діапазоні аерації – 7–14 ммоль O_2 /л/год. Установлені параметри культивування необхідні для отримання комплексного біоінсектицидного препарату на основі асоціації *B. thuringiensis* та *B. bassiana*.

Бібліографічні посилання

1. **Влияние** интенсивности массообмена по кислороду на рост *Bacillus thuringiensis* var. *dendrolimus* / В. И. Огарков, В. С. Муратов, А. А. Мялкин и др. // Биотехнология. – 1989. – Т. 5, № 2. – С. 164–167.
2. **Влияние** температуры и аэрации на рост и спорообразование *Bacillus thuringiensis* / Ю. Н. Игнатенко, З. В. Сахарова, М. П. Ховрычев и др. // Микробиология. – 1983. – Т. 52, вып. 5. – С. 716–718.
3. **Волова Т. Г.** Биотехнология. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1999. – 252 с.
4. **Оптимизация** условий аэрации в процессе культивирования *Bacillus thuringiensis* ssp. *kurstaki* шт. z-52 с использованием интегральной квазидинамической модели / В. В. Лаврикова, В. А. Ириков, Т. Г. Юдина и др. // Биотехнология. – 1992. – № 2. – С. 61–65.
5. **Пат.** 2172588 Российская Федерация, МПК7 A01N63/04, C12N1/14, C12N1/14, C12R1:645. Штамм гриба *Beauveria bassiana* (Bals) Vuill BKM F-3732D, используемый для получения энтомопатогенных препаратов / А. И. Пахтуев, Б. В. Прилепский, Ф. Н. Чегодаев; заявитель и патентообладатель Бердский завод биологических препаратов. – № 2000133361/13; заявл. 27.12.2000, опубл. 27.08.2001.
6. **Практикум** по микробиологии / Под ред. Н. С. Егорова. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1976. – 307 с.
7. **Рост** и развитие продуцента бактокулицида в зависимости от *pH* среды / А. И. Осадчая, В. С. Подгорский, С. Ф. Прокопченко и др. // Микробиол. журн. – 1990. – Т. 52, № 1. – С. 24–27.
8. **Doundji-Mtiche B.** Effect of some physicochemical and nutritional factors on the mycelium growth and sporulation of entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* / B. Doundji-Mtiche, F. Z. Bissaad // Ninth Arab Congress of Plant Protection, 19–23 November 2006, Damascus, Syria. – P. 202.
9. **Icgen Y.** Regulation of crystal protein biosynthesis by *Bacillus thuringiensis*: I. Effects of mineral elements and *pH* / Y. Icgen, B. Icgen, G. Ozcengiz // Res. Microbiol. – 2002. – Vol. 153, N 9. – P. 599–604.
10. **Karthikeyan A.** Effect of different media and *pH* on the growth of *Beauveria bassiana* and its parasitism on eating Caterpillars / A. Karthikeyan, V. Shanthi, A. Nagasathya // Research Journal of Agriculture and Biological Sciences. – 2008. – Vol. 4, N 2. – P. 117–119.
11. **Scale-up** approach for fermentation process of production of *Bacillus thuringiensis* var. *kenyae* based biopesticide / R. G. Muley, S. Sarkar, B. L. Bhan et al. // J. Sci. and Ind. Res. – 1999. – Vol. 58, N 10. – P. 781–784.

Надійшла до редакції 29.06.2010

УДК 579.873.71:577.15

И. В. Жерносекова, Н. П. Черногор, А. А. Тымчук, А. И. Винников

Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара

МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ СТРЕПТОМИЦЕТА

Оптимизирована питательная среда стрептомицета методом математического планирования эксперимента. Оптимизация ферментационной среды методом крутого восхождения совмещала в себе планирование полного факторного эксперимента (ПФЭ 2⁴) с методом движения по градиенту концентрации. Параметр оптимизации – активность стафилолитических ферментов, синтезируемых *Streptomyces recifensis* var. *lyticus* 2P-15. Активность стафилолитических ферментов на среде, оптимизированной методом крутого восхождения, составила 5589,4 ед./мл, что превышает активность ферментов на контрольной среде, полученной симплексным методом планирования эксперимента, на 69–86 %.

I. V. Zhernosekova, N. P. Chernogor, O. A. Tymchuk, A. I. Vinnikov

Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара

МЕТОДИ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ПРИ ОПТИМІЗАЦІЇ ЖИВИЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ СТРЕПТОМІЦЕТУ

Оптимізовано живильне середовище стрептоміцету методом математичного планування експериментів. Оптимізація ферментаційного середовища методом крутого сходження сполучала у собі планування за повним факторним експериментом (ПФЕ 2⁴) і метод руху за градієнтом концентрації. Параметр оптимізації – активність стафілолітичних ферментів, які синтезує *Streptomyces recifensis* var. *lyticus* 2P-15. Активність стафілолітичних ферментів на ферментаційному середовищі, оптимізованому методом крутого сходження, складала 5589,4 од./мл, що перевищує активність ферментів на контрольному середовищі, отриманому симплексним методом планування експерименту, на 69–86 %.

I. V. Zhernosekova, N. P. Chernogor, A. A. Tymchuk, A. I. Vinnikov

Oles' Honchar Dnipropetrovsk National University

METHODS OF EXPERIMENTS PLANNING BY OPTIMIZATION OF THE NUTRIENT MEDIUM FOR STREPTOMYCETE

Nutritious medium for the streptomycete have been optimized by a method of experiment planning. Optimization of the fermentative medium by method combined planning of experiment (TFE 2⁴ complete factorial) with a method of concentration gradient motion. Activity of staphylolytic enzymes synthesized by *Streptomyces recifensis* var. *lyticus* 2P-15 was studied as a parameter of the medium optimization. The enzymes activity averaged 5589.4 Un/ml in the medium optimized by a path-of-steepest-ascent method. That exceeds 69–86 % up on the enzymes activity in a control medium derived by a simplex method of experiment planning.

Введение

Разработка и последующее внедрение в практику современных технологий культивирования стрептомицетов, получения микробной биомассы и биологически активных веществ – продуктов их жизнедеятельности имеет большое практическое значение [10].

Оптимизация питательной среды является эффективным методом повышения биосинтетической активности продуцентов биологически активных веществ [4]. Оптимальный состав среды может быть определен двумя способами: методом эмпирического подбора и с использованием методов математического планирования эксперимента [1]. Применение методов активного эксперимента позволяет получать математические модели, описывающие свойства объектов исследований, при этом не возникает необходимости оценки процессов, протекающих внутри объекта. Получение математической модели обеспечивается четким выполнением алгоритма исследований и определением значений функции отклика объекта [5].

Традиционно состав питательной среды, оптимальной для выращивания продуцентов, определяется методом длительного эмпирического подбора, в ходе которого определяется качественный и количественный состав среды [8; 9; 11]. При оптимизации питательных сред для микроорганизмов все шире используют математический метод планирования экспериментов, что позволяет обоснованно подходить к конструированию питательных сред, делать их более экономичными [2].

Планирование эксперимента позволяет варьировать одновременно все факторы и получать количественные оценки как основных факторов, так и эффектов взаимодействия между ними, причем получаемые результаты характеризуются меньшей ошибкой, чем традиционные методы однофакторного исследования [3; 16; 17].

Учитывая большой практический интерес к литическим ферментам и необходимость разработки совершенной технологии их получения, представляется актуальным подбор состава и оптимизация ферментационной среды для *Streptomyces recifensis* var. *lyticus* – продуцента литических ферментов широкого спектра действия. С целью получения высокоактивных стафилолитических ферментов при культивировании стрептомицета проведена оптимизация состава ферментационной среды с использованием методов математического планирования экспериментов.

Поставленная цель является экстремальной задачей, в которой при большом числе независимых факторов (компонентов) питательной среды необходимо провести поиск той области факторного пространства, где синтез стафилолитических ферментов будет максимальным. Для решения поставленной задачи использованы регрессионные закономерности, полученные в ходе планирования эксперимента.

Материал и методы исследований

Объект исследований – рифампициноустойчивый штамм культуры *S. recifensis* var. *lyticus* 2435, выделенный из почвы, а в дальнейшем существенно модифицированный и улучшенный с помощью традиционных методов отбора штамма [15] и двух ступеней селекции [7]. Исследуемый штамм представляет собой наиболее перспективный вариант культуры продуцента, который синтезирует в жидкую ферментационную среду при глубинном культивировании комплекс литических ферментов, включающий эндопептидазы, гликозидазы, протеиназы, амилазы, ДНК-азы, при этом активность литических эндопептидаз составляла 1500 ед./мл [6; 14].

Культуру выращивали на агаризованной среде Гаузе 1 при температуре – 28 °С в течение 12 суток. Состав посевной среды (г/л): соевая мука – 4,75, крахмал – 30,0, NH_4NO_3 – 0,75, K_2HPO_4 – 0,1, $CaCO_3$ – 2,0, $CaCl_2$ – 1,0. Вода дистиллированная – 1 литр; pH среды – 8,0. Вегетативную культуру инокулировали в колбы объемом 500 мл, содержащие 50 мл стерильной ферментационной среды. Предыдущими исследованиями установлено, что продуцент лучше растет и проявляет наибольшую стафилолитическую активность на ферментационной среде следующего состава (г/л): соевая

мука – 6,0, глюкоза – 11,0, NH_4NO_3 – 16,0, K_2HPO_4 – 0,27, $CaCO_3$ – 4,2, $CaCl_2$ – 2,0, $MnCl_2$ – 0,015, $FeSO_4$ – 0,05, $ZnSO_4$ – $2,0 \cdot 10^{-4}$. Литическую активность в отношении интактных клеток стафилококка определяли турбидиметрическим методом при 590 нм в кювете 0,5 см на КФК-2МП и выражали в ед./мл. За единицу бактериолитической активности принимали такое количество фермента, которое снижало оптическую плотность суспензии на 0,001 за 1 мин. при разведении фермента, способном лизировать взвесь клеток на 25–30 % [18]. Для того, чтобы выяснить, являются ли оптимальными весовые соотношения компонентов, которые входят в состав этой среды, проведен полный факторный эксперимент (ПЭФ). Исследовано влияние на стафилолитическую активность исследуемого штамма четырех факторов среды культивирования: X_1 – $C_6H_{12}O_6$, X_2 – K_2HPO_4 , X_3 – NH_4NO_3 , X_4 – $CaCO_3$. Каждый фактор исследовали на двух уровнях (нижнем и верхнем).

Результаты и их обсуждение

В биотехнологическом процессе, организованном на основе использования высокопродуктивных штаммов – продуцентов, основное внимание должно уделяться не только созданию продуцента, его поддержанию, но и условиям культивирования. Для роста продуцента нужен жизнеспособный посевной материал, источники энергии и углерода, питательные вещества и соответствующие физико-химические условия культивирования [11]. Оптимизация условий культивирования может осуществляться на основе сочетания экспериментального и математического моделирования с проведением вычислительного эксперимента, который содержит важный этап – определение математической модели, то есть уравнения регрессии, характеризующего связь параметра оптимизации с основными факторами. Использование такой упрощенной модели позволяет быстрее сделать необходимые выводы о значимости тех или иных компонентов питательной среды, качественном и количественном ее составе.

Ранее при подборе состава ферментационных сред для синтеза стафилолитических ферментов *S. recifensis* var. *lyticus* был определен основной компонентный состав питательной среды, позволивший достичь уровня активности стафилолитических ферментов 1500 ед./мл. Оптимизация этой среды с использованием симплексного метода планирования эксперимента позволила при минимальных затратах (на двух ступенях использовано 8+10 вариантов сред) оптимизировать соотношение 10 компонентов питания, которые входили в состав исходной ферментативной среды. В варианте среды, разработанном симплексным методом, возросла концентрация NH_4NO_3 , K_2HPO_4 , $CaCO_3$, $CaCl_2$ в 1,2–1,6 раза и существенно (в 9,4 раза) увеличено содержание глюкозы (с 0,07 до 0,66 %). При этом активность штамма П-29 достигла 2000 ед./мл, а активность устойчивого к рифампицину штамма 2Р-15 колебалась в пределах 3000–3300 ед./мл. Оптимизированная симплексным методом питательная среда позволила повысить активность штаммов по сравнению с исходным штаммом 2435 примерно в 2,0–2,3 раза [6]. Однако при использовании симплексного метода остается неизвестной математическая модель исследуемого процесса и невозможно оценить, как влияние отдельных факторов, так и их взаимодействий. Кроме того, процедура оптимизации слишком затянута во времени, так как построение следующего симплекса невозможно, пока не будет реализован предыдущий.

В связи с этим для оптимизации среды целесообразным, на наш взгляд, является использование метода ПФЭ, позволяющего поставить большое количество опытов, реализовать все возможные комбинации основных уровней независимых переменных факторов среды, установить оптимальные концентрации этих компонентов среды с

учетом их совместного влияния на активность целевых ферментов, а также значительно быстрее, по сравнению с симплексным методом, найти и обосновать оптимальный состав среды.

Нами проведен эксперимент по оптимизации состава среды с использованием метода крутого восхождения, совмещающего в себе планирование эксперимента (ПФЭ) с методом движения по градиенту. Предварительными исследованиями определено, что на величину литической активности продуцента оказывают влияние четыре фактора среды: глюкоза, фосфорнокислый калий, аммоний азотнокислый и мел.

В планируемых экспериментах требовалось достигнуть оптимума стафилолитической активности ферментов при следующих ограничениях на основные компоненты среды: $X_1 \leq 16,0$, $X_2 \leq 0,8$, $X_3 \leq 2,0$, $X_4 \leq 2,5$ г/л.

В ходе факторного эксперимента со штаммом 2Р-15 проверены эти компоненты среды с целью определения среди них наиболее значимых для синтеза стафилолитических ферментов. В качестве контрольной среды использовали ферментационную среду, полученную симплексным методом планирования эксперимента.

Для построения математической модели реализован полный факторный эксперимент (ПФЭ 2^4), при этом параметром оптимизации являлся уровень литической активности, а в качестве факторов варьирования взяты соответственно: $C_6H_{12}O_6$, K_2HPO_4 , NH_4NO_3 , $CaCO_3$. Содержание остальных компонентов ($CaCl_2$, $MnCl_2$, $FeSO_4$, $ZnSO_4$) зафиксировано на оптимальном (по результатам предыдущих экспериментов) уровне. При планировании по такой схеме реализованы все возможные комбинации. Верхний и нижний уровни (табл. 1) устанавливали экспериментально предварительными однофакторными опытами. Исходя из значений этих параметров определяли центр плана и шаг варьирования. В безразмерной системе координат верхний уровень выражали +1, нижний уровень –1, координаты центра плана равны нулю.

Таблица 1

Значения факторов в натуральных переменных, единицы варьирования (σ г/л) и концентрации основных компонентов ферментационных сред

Компонент среды	Фактор	Основной уровень (0), г/л	Нижний уровень (–1), г/л	Верхний уровень (+1), г/л	Единицы варьирования (σ), г/л
$C_6H_{12}O_6$	X_1	12,0	10,0	14,0	2,0
K_2HPO_4	X_2	0,3	0,2	0,4	0,1
NH_4NO_3	X_3	1,5	1,0	2,0	0,5
$CaCO_3$	X_4	4,2	3,2	5,2	1,0

Количество опытов определяли по формуле: $N = n^k$, где k – число факторов, n – количество уровней, то есть для двухуровневого полнофакторного эксперимента $N = 2^4$. Таким образом, план ПФЭ 2^4 позволил исследовать 16 вариантов питательных сред с одновременным варьированием всех четырех факторов на двух уровнях: верхнем (+1) и нижнем (–1), среднее арифметическое между верхним и нижним уровнями представляет собой средний уровень.

Матрица планирования полного факторного эксперимента для четырех факторов представлена в таблице 2. В этом случае число возможных комбинаций из четырех факторов на двух уровнях равно $N = n^k = 2^4 = 16$. Для получения расширенной матрицы планирования с фиктивной переменной, представленной в таблице 3, вводится столбец с так называемой фиктивной переменной $x_0 = 1$. Нулевой фактор (x_{0i}) характеризует неучтенные факторы, влияющие на параметр оптимизации, и необходим для определения свободного члена уравнения регрессии b_0 . Результаты эксперимента в каждой из серий испытаний представлены в столбцах Y_0 , Y_1 , Y_2 , ..., Y_m (табл. 2).

Полный факторный эксперимент для четырех факторов

Номер опыта	Факторы в натуральном масштабе				Факторы в безразмерной величине				Выходной параметр
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	X_1	X_2	X_3	X_4	Y
1	$Z_1 \min$	$Z_2 \min$	$Z_3 \min$	$Z_4 \min$	-1	-1	-1	-1	Y_1
2	$Z_1 \max$	$Z_2 \min$	$Z_3 \min$	$Z_4 \min$	+1	-1	-1	-1	Y_2
3	$Z_1 \min$	$Z_2 \max$	$Z_3 \min$	$Z_4 \min$	-1	+1	-1	-1	Y_3
4	$Z_1 \max$	$Z_2 \max$	$Z_3 \min$	$Z_4 \min$	+1	+1	-1	-1	Y_4
5	$Z_1 \min$	$Z_2 \min$	$Z_3 \max$	$Z_4 \min$	-1	-1	+1	+1	Y_5
6	$Z_1 \max$	$Z_2 \min$	$Z_3 \max$	$Z_4 \min$	+1	-1	+1	-1	Y_6
7	$Z_1 \min$	$Z_2 \max$	$Z_3 \max$	$Z_4 \min$	-1	+1	+1	-1	Y_7
8	$Z_1 \max$	$Z_2 \max$	$Z_3 \max$	$Z_4 \min$	+1	+1	+1	-1	Y_8
9	$Z_1 \min$	$Z_2 \min$	$Z_3 \min$	$Z_4 \max$	-1	-1	-1	+1	Y_9
10	$Z_1 \max$	$Z_2 \min$	$Z_3 \min$	$Z_4 \max$	+1	-1	-1	+1	Y_{10}
11	$Z_1 \min$	$Z_2 \max$	$Z_3 \min$	$Z_4 \max$	-1	+1	-1	+1	Y_{11}
12	$Z_1 \max$	$Z_2 \max$	$Z_3 \min$	$Z_4 \max$	+1	+1	-1	+1	Y_{12}
13	$Z_1 \min$	$Z_2 \min$	$Z_3 \max$	$Z_4 \max$	-1	-1	+1	+1	Y_{13}
14	$Z_1 \max$	$Z_2 \min$	$Z_3 \max$	$Z_4 \max$	+1	-1	+1	+1	Y_{14}
15	$Z_1 \min$	$Z_2 \max$	$Z_3 \max$	$Z_4 \max$	-1	+1	+1	+1	Y_{15}
16	$Z_1 \max$	$Z_2 \max$	$Z_3 \max$	$Z_4 \max$	+1	+1	+1	+1	Y_{16}

Проверка показала, что экспериментальные данные являются нормально распределенными и однородными. Приведенная в таблице 2 матрица обладает следующими свойствами: 1) свойство ортогональности (равенство нулю скалярных произведений всех векторов); 2) симметричность относительно центра; 3) условие нормировки; 4) ротатабельность, то есть точки в матрице планирования подбираются так, что точность предсказаний значений параметра оптимизации одинакова на равных расстояниях от центра эксперимента и не зависит от направления.

Коэффициенты уравнения регрессии определяются по методу наименьших квадратов, поэтому необходимо отметить, что экспериментальные данные должны быть однородными и нормально распределенными. Любой коэффициент уравнения регрессии определяется скалярным произведением столбца Y на соответствующий столбец, отнесенным к числу опытов в матрице планирования N :

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ij} y_i$$

где b_i – коэффициент регрессии, N – число возможных комбинаций; x_{ij} – значение переменной в соответствующем столбце, y_i – выход процесса, в данном случае активность стафилолитических ферментов.

Для определения коэффициентов взаимодействия необходимо расширить таблицу 2 дополнительными столбцами, учитывающими эффект двойного, тройного и четверного взаимодействия факторов (табл. 3). Эффекты взаимодействия определяли аналогично линейным эффектам [5]. В соответствии с данными таблицы 3 рассчитывали коэффициенты уравнения регрессии. Величина коэффициента регрессии (b_i) характеризует вклад каждого фактора (X_i) питательной среды в значения уровня стафилолитической активности (Y) стрептомицета.

Полином первой степени при проведении планирования эксперимента ПФЭ 2^4 имел вид $Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4$, то есть

$$Y = 2499,9 + 410,9X_1 + 451,6X_2 + 409,7X_3 - 156,5X_4.$$

Эффекты взаимодействия определяли аналогично линейным эффектам: коэффициенты парного взаимодействия равны соответственно: $b_{12} = 42,31$, $b_{13} = -23,06$, $b_{23} = 12,69$, $b_{123} = 20,06$, $b_{14} = -8,19$, $b_{24} = 3,44$, $b_{124} = 19,56$, $b_{34} = 69,31$, $b_{134} = 21,44$, $b_{234} = -8,44$, $b_{1234} = -13,69$.

Полученное уравнение регрессии имело следующий вид:

$$Y = 2499,9 + 410,9X_1 + 451,6X_2 + 409,7X_3 - 156,5X_4 + 42,31X_1X_2 - 23,06X_1X_3 + 12,69X_2X_3 + 20,06X_1X_2X_3 - 8,19X_1X_4 + 3,44X_2X_4 + 19,56X_1X_2X_4 + 69,31X_3X_4 + 21,44X_1X_3X_4 - 8,44X_2X_3X_4 - 13,69X_1X_2X_3X_4.$$

Таблица 3

Расширенная матрица планирования для ПФЭ 2^4

№ опыта	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_1X_2	X_1X_3	X_1X_4	X_2X_3	X_2X_4	X_3X_4	$X_1X_2X_3$	$X_1X_2X_4$	$X_1X_3X_4$	$X_2X_3X_4$	$X_1X_2X_3X_4$	Y
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 833
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1 256
2	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	2 462
3	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	2 359
4	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	2 924
5	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	2 367
6	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	2 862
7	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	3 051
8	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	3 971
9	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1 119
10	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1 958
11	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1 891
12	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	2 753
13	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	2 137
14	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	2 546
15	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	2 532
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3 811

Полученные данные свидетельствуют о том, что концентрации глюкозы, K_2HPO_4 и NH_4NO_3 в питательной среде культивирования стрептомицета существенно влияют на активность литических ферментов. Увеличение относительно среднего уровня (вариант 0) содержания в среде факторов X_1 (глюкоза), X_2 (K_2HPO_4) и X_3 (NH_4NO_3) и снижение содержания фактора X_4 ($CaCO_3$) должно дать значимый положительный эффект. Увеличение глюкозы на 2 мг/мл, K_2HPO_4 – на 0,1 мг/мл, а NH_4NO_3 – на 0,5 мг/мл повышает активность стафилолитических ферментов соответственно на 410,9, 451,6 и 411,6 ед./мл, а увеличение $CaCO_3$ на 1 мг/мл приводит к снижению активности на 156,5 ед./мл. Таким образом, эксперимент, в котором в серии различных вариантов ферментационной среды одновременно, с определенным шагом, будут снижаться концентрации «отрицательных» и увеличиваться концентрации «положительных» компонентов, должен привести к решению поставленной задачи – получению оптимальной по составу ферментационной среды.

Значимость коэффициентов регрессии проверяли по критерию Стьюдента. Дисперсия воспроизводимости коэффициентов регрессии составляла 768,30, ошибка дисперсии – 192,07. Коэффициенты регрессии считали отличными от нуля, если выполнялось следующее неравенство: $|b_i| > t_{0,05}(f)S\{b_i\}$, где f – число степеней свободы, $t_{0,05}$ – критерий Стьюдента при 5 % уровне значимости, который находится по таблице [12].

Полученные данные свидетельствуют о том, что следует признать значимыми коэффициенты b_1 , b_2 и b_3 и включить их в модель, а коэффициенты b_4 , b_{12} , b_{13} , b_{23} , b_{12} , b_{14} , b_{24} , b_{124} , b_{34} , b_{134} , b_{234} , b_{1234} незначимы и их следует отбросить, не включая в искомую модель. На основании полученных данных математическая модель (уравнение регрессии), включающая только значимые коэффициенты, выглядит следующим образом:

$$Y = 2499,9 + 410,9X_1 + 451,6X_2 + 409,7X_3.$$

Проверку адекватности полученной модели проводили с использованием F -критерия Фишера. Вычисленное значение F было меньше табличного $F_{0,05}$, что доказывает адекватность найденной модели.

На основании результатов проведенного ПФЭ можно предположить, что для дальнейшей оптимизации среды применение метода крутого восхождения будет эффективным, так как полученная линейная модель адекватна и не является резко асимметричной относительно коэффициентов.

На следующем этапе исследований расчет крутого восхождения проводили в такой последовательности.

1. Величину шага движения по градиенту концентраций факторов в среде рассчитывали по стандартной методике, исходя из значений коэффициентов регрессии. С этой целью переход к новому натуральному масштабу интервалов варьирования осуществляли с помощью формулы: $L_i = b_i \delta_i$, где b – коэффициенты регрессии, δ_i – единицы варьирования. Рассчитано, что $L_1 = 821,8$, $L_2 = 45,16$, $L_3 = 54,85$. Абсолютная величина $|L_{\max}|$ имеет наибольшее значение для глюкозы, следовательно, глюкоза является базовым фактором. Для остальных факторов коэффициенты рассчитывали по формуле:

$$\gamma_i = \frac{L_i}{|L_{\max}|},$$

где γ_i – новые коэффициенты при значимых факторах. Рассчитанные коэффициенты составили для глюкозы, двузамещенного фосфата калия и нитрата аммония соответственно: $\gamma_1 = 1,0$, $\gamma_2 = 0,055$, $\gamma_3 = 0,067$.

2. Для базового фактора (X_1) выбирали модуль шага движения по градиенту ($h_{\text{баз.}}$). Шаг движения не должен превышать интервала варьирования по базовому фактору $h_{\text{баз.}} = \delta_{\text{баз.}}$. Поэтому, в нашем случае, учитывая, что $\delta_{\text{баз.1}} = 2,0$, принимаем $h_{\text{баз.}} = 1,8$. Рассчитывали шаги движения остальных факторов (h_i) по формуле: $h_i = h_{\text{баз.}} \gamma_i$. Округляя значения h_2 , h_3 , имеем следующие шаги движения по градиенту: $h_1 = 1,80$, $h_2 = 0,099$, $h_3 = 0,10$.

3. Рассчитывали условия и результаты опытов крутого восхождения (мысленных опытов). Значения факторов, определяющие условия опытов, определяли по формуле: $X_{ji} = X_{j-1,i} + h_i$, где j – номер опыта, i – номер фактора. Результаты мысленных опытов (y_{jm}) рассчитывали по модели $Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 - b_4X_4 = 2499,9 + 410,9X_1 + 451,6X_2 + 409,7X_3 - 156,6X_4$ для X_{ji} , вычисленных по формуле $X_{ji} = X_{j-1,i} + h_i$. Аналогично рассчитывали условия и результаты остальных опытов (табл. 4).

Движение по градиенту считали эффективным, если реализация мысленных опытов, рассчитанных на стадии крутого восхождения, приводила к увеличению значения параметра оптимизации (стафилолитической активности) по сравнению с наилучшим результатом в матрице полного факторного эксперимента (табл. 5).

Как видно, стафилолитическая активность штамма 2Р-15, выявленная в реализованном опыте № 2, составляет 4100,8 ед./мл. Кроме того, реализованы опыты № 3 и 5, в которых при движении по градиенту фактор (X_1) достигал границ допустимых значений, при этом данный фактор стабилизировался и движение осуществлялось по остальным факторам X_2 и X_3 (см. табл. 4).

Таблица 4

**Расчет крутого восхождения для определения
количественного соотношения компонентов среды**

Характеристика фактора и опыта	X_1	X_2	X_3
Интервал варьирования (σ_i)	2,0	0,1	0,5
Коэффициент регрессии (b_i)	410,9	451,6	409,7
Произведение $L_i = b_i \sigma_i$	821,80	45,16	54,85
Коэффициент (γ_i)	1,000	0,055	0,067
Шаг движения (h_i)	1,8	0,1	0,1

Таблица 5

**Состав сред и стафилолитическая активность,
выявленная в результате мысленных и реализованных опытов методом крутого восхождения**

№ опыта	X_1 , г/л	X_2 , г/л	X_3 , г/л	$Y_{мысл}^*$, ед./мл	$Y_{реал}^{**}$, ед./мл
1	13,8	0,4	1,6	3403,1	—
2	15,6	0,5	1,7	4306,3	4100,8
3	15,6	0,6	1,8	4838,0	4932,7
4	15,6	0,7	1,9	5373,1	—
5	15,6	0,8	2,0	5906,5	5589,4

Примечания: * – стафилолитическая активность ферментов, теоретически рассчитанная в программе Microsoft Excel по методу крутого восхождения, ** – стафилолитическая активность ферментов, полученная экспериментальным путем по методу крутого восхождения.

На основании проведенных исследований можно заключить, что крутое восхождение в данном случае оказалось эффективным, так как, сравнивая наилучший результат ПФЭ 2⁴ (3811,0 ед./мл) с полученным в реализованном опыте № 5 (5589,4 ед./мл), видим, что активность продукта увеличивается в 1,5 раза. В результате эксперимента по плану «крутого восхождения» разработана ферментационная среда следующего состава (г/л): глюкоза – 15,6, K_2HPO_4 – 0,8, NH_4NO_3 – 2,0, $CaCO_3$ – 4,2, $CaCl_2$ – 2,0, $MnCl_2$ – 0,015, $FeSO_4$ – 0,05, $ZnSO_4$ – $2,0 \cdot 10^{-4}$. На данной среде стафилолитическая активность штамма 2Р-15 достигала 5589,4 ед./мл, что более чем в 1,86 раза превысило среднюю активность на исходной среде, полученной симплексным методом планирования эксперимента.

Для подтверждения достигнутых результатов проведен контрольный эксперимент на двух ферментационных средах (исходной и оптимальной), подтвердивший эффективность оптимизации на основе математического планирования эксперимента методом крутого восхождения. Неожиданным оказался такой же положительный эффект, выявленный для штамма П-29, активность которого на оптимальной для штамма 2Р-15 среде превысила контроль в 1,95 раза и составляла 3900 ед./мл.

Выводы

Коэффициенты уравнения регрессии, рассчитанные по ПФЭ 2⁴ для основных компонентов ферментационной среды штамма 2Р-15, оказались значимыми относительно глюкозы, двузамещенного фосфата калия и нитрата аммония. Реализация опытов, рассчитанных на стадии крутого восхождения, обеспечила увеличение значения стафилолитической активности штамма 2Р-15 по сравнению с самым хорошим результатом в матрице факторного эксперимента в 1,5 раза. Крутое восхождение оказалось эффективным, так как наилучший результат стафилолитической активности для ПФЭ 2⁴ составил 3811 ед./мл, а в реализованном опыте № 5 – 5589,4 ед./мл. Разработанная методом крутого восхождения ферментационная среда для штамма 2Р-15 позволи-

ла увеличить его стафилолитическую активность более чем в 1,9 раза по сравнению с контрольной средой, рассчитанной ранее симплексным методом.

Библиографические ссылки

1. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 280 с.
2. Арзамасцев А. А. Математические модели кинетики микробного синтеза: возможности использования и новые подходы к разработке / А. А. Арзамасцев, А. А. Андреев // Вестн. Тамбов. ун-та. Серия: Естеств. и техн. науки. – 2000. – Т. 5, № 1. – С. 111–130.
3. Бирюков В. В. Оптимизация периодических процессов микробиологического синтеза / В. В. Бирюков, В. М. Кантере. – М. : Наука, 1985. – 296 с.
4. Божков А. И. Биотехнология. – Харьков : Федорко, 2008. – 364 с.
5. Гайдадин А. Н. Применение средств ЭВМ при обработке активного эксперимента / А. Н. Гайдадин, С. А. Ефремова. – Волгоград : Волг. ГТУ, 2008. – 16 с.
6. Жерносекова И. В. Изменчивость продуцента литических ферментов *Streptomyces recifensis* var. *lyticus* и его селекция: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – К., 2002. – 20 с.
7. Использование метода протопластирования в селекции продуцента литических ферментов *S. recifensis* var. *lyticus* / Т. Я. Куликова, А. С. Стенько, Н. К. Безкоровайная и др. // Антибиотики и химиотер. – 1994. – Т. 39, № 2/3. – С. 9–12.
8. Математическая модель биосинтеза L-лейцина / Д. С. Осипов, Т. В. Гусельникова и др. // Труды МГУИЭ. – 2001. – Т. 5. – С. 19–23.
9. Монтгомери Д. К. Планирование эксперимента и анализ данных. – Л. : Судостроение, 1980. – 384 с.
10. Оптимизация биотехнологического процесса выращивания актиномицетов с использованием перфторуглеродов / М. К. Бакулин, А. С. Кучеренко, Н. А. Кривошеина и др. // Наука – производство – технологии – экология. Сб. матер. Всеросс. научн.-техн. конф. – Киров : ЦДО-ОШШ, 2003. – Т. 3. – С. 90–91.
11. Перт С. Д. Основы культивирования микроорганизмов и клеток. – М. : Мир, 1978. – 331 с.
12. Практикум по микробиологии / Под ред. Н. С. Егорова. – М. : МГУ, 1976. – 307 с.
13. Применение полного факторного эксперимента при проведении исследований: Метод. указания / А. Н. Гайдадин, С. А. Ефремова. – Волгоград : Волг. ГТУ, 2008. – 16 с.
14. Соколова И. Е. Выделение и изучение бактериолитического ферментного комплекса *Actinomyces recifensis* var. *lyticus* 2435: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – М., 1985. – 17 с.
15. Шинкаренко Л. Н. Литические ферменты *Actinomyces recifensis* var. *lyticus* 2435 и условия, влияющие на их биосинтез: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – М., 1979. – 16 с.
16. Bajpai R. K. A mechanistic model for penicillin production / R. K. Bajpai, M. Reuss // J. Chem. Technol. and Biotechnol. – 1980. – Vol. 30. – P. 332–344.
17. Ettler P. Determination of the optimal feeding regime during biosynthesis of erythromycin / P. Ettler, J. Votruba // Folia Microbiol. – 1980. – Vol. 25. – P. 424–429.
18. Isono M. Bacteriolytic enzyme and process for the production thereof Pat. 3649454USA, C12 K 1 / 06 / M. Isono, T. Takahashi, Y. Yamadazaki. – Publ. 10.04.1972.

Надійшла до редколегії 11.08.2010

УДК 631.618:633.2.031

А. В. Жуков, И. В. Лядская

Днепропетровский государственный аграрный университет

ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ АГРОБИОГЕОЦЕНОЗОВ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ УЧАСТКЕ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ, НАРУШЕННЫХ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ

Приведены результаты изучения первичной продуктивности агробиогеоценозов, которые сформированы в разнообразных эдафических условиях, возникающих в процессе рекультивации земель. Установлены закономерности пространственной изменчивости биомассы растительных сообществ. Средствами ГИС-технологий с использованием регрессионного анализа количественно оценена зависимость фитомассы от эдафических факторов (агрегатный состав и содержание гумуса). Полученные результаты свидетельствуют о том, что увеличение количества почвенных агрегатов с размерами более 3 мм благоприятствует росту первичной продуктивности агробиогеоценозов на участках рекультивации.

О. В. Жуков, І. В. Лядська

Дніпропетровський державний аграрний університет

ПЕРВИННА ПРОДУКТИВНІСТЬ АГРОБІОГЕОЦЕНОЗІВ НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІЙ ДІЛЯНЦІ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ, ПОРУШЕНИХ ГІРНИЧОДОБУВНОЮ ПРОМИСЛОВІСТЮ

Наведено результати дослідження первинної продуктивності агробіогеоценозів, сформованих у різноманітних едафічних умовах, що виникають у процесі рекультивації земель. Встановлено закономірності просторової мінливості біомаси рослинних угруповань. Засобами ГІС-технологій із використанням регресійного аналізу кількісно оцінено залежність фітомаси від едафічних особливостей (агрегатний склад і вміст гумусу). Одержані результати свідчать про те, що збільшення кількості ґрунтових агрегатів із розмірами, що перевищують 3 мм, сприяє зростанню первинної продуктивності агробіогеоценозів на ділянках рекультивації.

A. V. Zhukov, I. V. Liadskaya

Dnipropetrovsk State Agrarian University

PRIMARY PRODUCTIVITY OF THE AGROBIOGEOCENOSES ON THE EXPERIMENTAL AREA OF THE LAND RECLAMATION AFTER MINING IMPACT

The results of the primary productivity investigation of agrobiogeocoenoses in different edaphic condition of reclaimed soil have been presented. The spatial variability of the plant community biomass has been shown by means of GIS-approaches. By means of regression analysis the dependence of the phytomass on edaphic factors, such as aggregate composition and humus content, have been quantitatively assessed. The data obtained reveal that the rise of the soil aggregate with size of more than 3 mm leads to primary production increase of agrobiogeocoenoses in the recultivated areas.

Введение

При открытой разработке полезных ископаемых происходит нарушение почвенного покрова на значительной территории [1]. Растительность является важным фактором биологического этапа рекультивации земель. Первичная продукция растительных группировок во многом определяет интенсивность восстановления биотического потенциала почвенного покрова [3]. Характер влияния растительности на процесс рекультивации многоплановый. Биомасса растительного покрова как результат продукционного процесса рассматривается в качестве интегрального показателя интенсивности фитогенного фактора рекультивации земель [5].

В настоящее время накоплен и теоретически осмыслен большой фактический материал относительно закономерностей формирования первичной продукции сообществ на участках рекультивации [5]. Однако совершенно не изученным является вопрос о статистических свойствах этого показателя и особенностях его пространственного варьирования [2]. Выявление пространственных и статистических закономерностей формирования первичной продукции агробиогеноценозов на рекультивируемых землях является целью настоящего исследования.

Материал и методы исследований

Исследование проведено на научно-исследовательском стационаре Днепропетровского государственного аграрного университета в г. Орджоникидзе. Экспериментальный участок по изучению оптимальных режимов рекультивации создан в период с 1968 по 1970 год. Фитомасса растительных группировок была установлена на площадках размером 50×50 см. Площадки были закономерно расположены вдоль восьми трансект в направлении с запада на восток. Каждая трансекта состояла из 20 проб, расположенных с интервалом 15 м. Дистанция между трансектами также составила 15 м. Данные о фитомассе собраны со 160 проб в июле 2009 года. Сбор материалов проводили по общепринятым методикам [1].

Результаты и их обсуждение

Растительный покров на экспериментальном участке рекультивации земель в период исследований представлен двумя основными ассоциациями: злаковой с преобладанием костреца безостого (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub) и бобовой, представленной донником желтым (*Melilotus officinalis* (L.) Desr.). После длительного периода произрастания на территории экспериментального участка культурной злаково-бобовой травосмеси (1995–2003) начался период самозаращения. Очевидно, структура растительного покрова являет собой результат сукцессий под воздействием эдафических факторов и взаимодействий внутри растительного сообщества.

Преобладающей ассоциацией по покрытию является злаковая *B. inermis* (83,8 % проб). На рисунке 1 показано пространственное расположение растительных ассоциаций в пределах экспериментального участка. Карта получена с помощью применения радиальных базовых функций. Оценка площади, занимаемой ассоциациями, дает значения 88,0 % для *B. inermis* и 12,0 % для *M. officinalis*.

В качестве экологических характеристик доминирующих видов растительных ассоциаций приведены значения индикаторных шкал Г. Элленберга [7; 8], Е. Ландольта [9] и Д. Н. Цыганова [6] (табл. 1).

Кострец безостый и донник желтый относятся к лугово-степной ценотической группе. По выбранным шкалам имеют близкие значения. По шкале Ландольта эти виды незначительно различаются только по континентальности. По Элленбергу, кострец

безостый является более требовательным к условиям влажности почвы, чем донник желтый. Подобные выводы можно сделать и при анализе экологических свойств растений по шкале Цыганова.

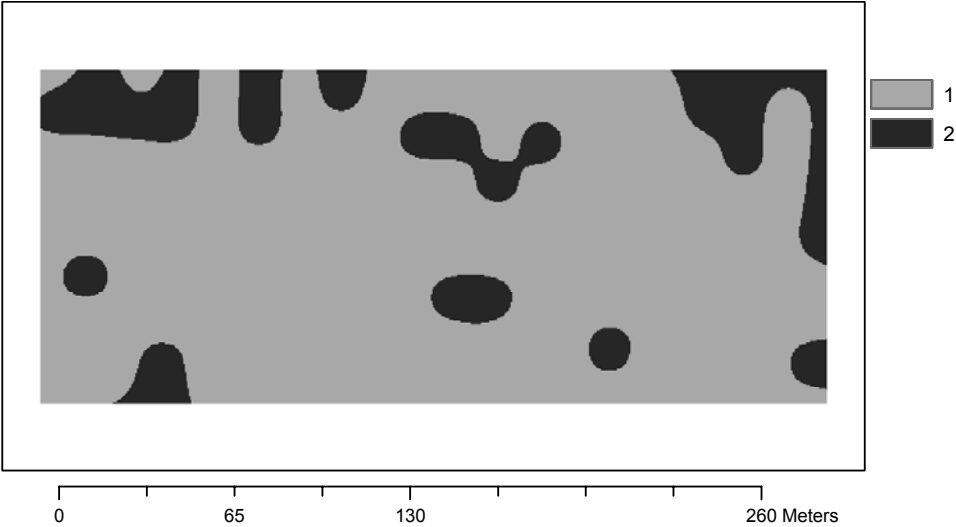


Рис. 1. Пространственное распределение растительных ассоциаций по территории экспериментального участка: 1 – ассоциация *Bromopsis inermis*, 2 – ассоциация *Melilotus officinalis*

Таблица 1

Экологическая характеристика доминирующих видов растительного покрова экспериментального участка

Автор	Название вида	<i>Bromopsis inermis</i>	<i>Melilotus officinalis</i>
	тип ареала по Мезелю	циркумполярный; бореальный-субмеридиональный	европейский-западноазиатский; бореально-меридиональный
	эколого-ценотическая группа	лугово-степная	лугово-степная
По Элленбергу	температура	–	5
	континентальность	7	6
	увлажнение почвы	4	3
	кислотность почвы	8	8
	азотообеспеченность	5	3
	освещенность	8	8
По Ландольту	температура	4	4
	континентальность	4	3
	увлажнение почвы	2	2
	кислотность почвы	4	4
	азотообеспеченность	3	3
	гумус	3	3
	гранулометрический состав	3	3
	освещенность	4	4
По Цыганову	температура	3–12	3–13
	континентальность	3–15	3–15
	криоклимат	3–11	5–13
	увлажнение почвы	3–19	3–15
	кислотность почвы	7–13	1–13
	азотообеспеченность	3–9	1–9
	солевое богатство	5–17	1–17
	освещенность	1–5	1–3

Существенным фактором, ограничивающим возможность сельскохозяйственного использования техноземов, является дефицит азота. В отношении трофности (чувствительность к количеству азота в почве) по Элленбергу более требовательным является костреч безостый, чем донник желтый. Это различие является наиболее экологически существенным, которое можно выявить при сравнении индикаторных свойств растений. Вполне возможно, что способность фиксировать азот, которая присуща бобовым растениям, снижает чувствительность донника желтого к количеству азота в почве.

Данные по фитомассе приведены в граммах на площадь учетной единицы ($0,25 \text{ м}^2$) (табл. 2), так как учет пространственной компоненты изменчивости признака предполагает наличие зависимостей изучаемого показателя от масштаба. Это значит, что пересчет результатов учета фитомассы на площадке $0,25 \text{ м}^2$ в другие единицы (большие по своему значению, например, в гектары), может дать неверные результаты.

Таблица 2

**Статистические характеристики фитомассы
экспериментального участка по рекультивации земель ($г/0,25 \text{ м}^2$, 05.07.2009 г.)**

Ассоциация	Средняя	Доверительный интервал		Число проб
		-95,0 %	+95,0 %	
<i>Bromopsis inermis</i>	127,5	117,9	137,1	134,0
<i>Melilotus officinalis</i>	271,7	219,3	324,2	26,0
В целом по участку	151,0	136,9	165,1	160,0

В целом по участку фитомасса находится на уровне $151,0 \text{ г}/0,25 \text{ м}^2$. Фитомасса ассоциации донника желтого ($271,7 \text{ г}/0,25 \text{ м}^2$) значительно превышает фитомассу костреча безостого ($127,5 \text{ г}/0,25 \text{ м}^2$). Очевидно, что эти различия обусловлены габитуальными особенностями видов-эдикаторов: растения донника желтого значительно больше по размерам, чем костреча. Несмотря на различия абсолютных значений, изменчивость фитомассы в обеих ассоциациях находится практически на одном уровне (коэффициент вариации для костреча безостого составляет 44,0 %, а для донника желтого – 47,8 %).

Распределение фитомассы в ассоциациях *B. inermis* описывается нормальным законом (тест Колмогорова – Смирнова $d = 0,07$) (рис. 2). Для подтверждения нормального характера распределения фитомассы ассоциаций *M. officinalis* недостаточно данных, однако это распределение может быть выбрано в качестве наиболее вероятной гипотезы ($d = 0,11$).

Статистический характер распределения изучаемой величины имеет свое экологическое содержание. Нормальное распределение возникает тогда, когда на изучаемую случайную величину не действует один значительный фактор, либо число значительных факторов велико, так что невозможно выделить один ведущий. Нормальное распределение позволяет предположить экологическую однородность изучаемой территории для произрастающих на ней растений. Кроме того, нормальный характер распределения позволяет выдвинуть гипотезу о том, что продукционный процесс растительного покрова на участке рекультивации находится в стационарном состоянии.

Тип техноземов, в сочетании с особенностями растительности, определяет уровень значений и особенности изменчивости фитомассы. Фитомасса ассоциаций *M. officinalis* является в большей степени чувствительной к типу техноземов по сравнению с фитомассой ассоциации *B. inermis* (рис. 3). Насыпной слой чернозема, лессы и лессовидные суглинки являются более продуктивными субстратами. Изменчивость фитомассы ассоциаций *M. officinalis* на этих субстратах (коэффициент вариации 43,0 и 30,9 % соответственно) меньше, чем на серо-зеленых (130,5 %) и красно-бурых (48,1 %) глинах.

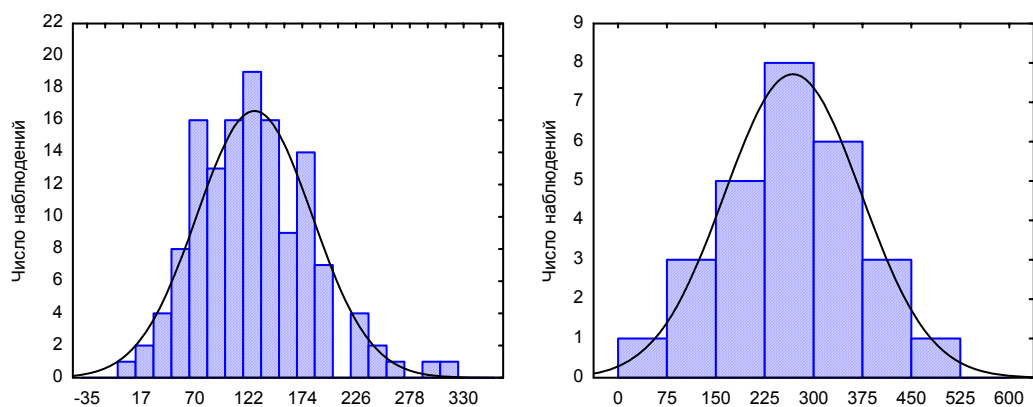


Рис. 2. Гистограмма распределения фитомассы (г/0,25 м²):
слева – ассоциация *Bromopsis inermis*, справа – *Melilotus officinalis*

Ассоциации *B. inermis* характеризуются наибольшей продуктивностью фитомассы на лессах и лессовидных суглинках, а наименьшей – на красно-бурых глинах. Насыпной слой чернозема и серо-зеленые глины занимают промежуточное положение. Изменчивость фитомассы в ассоциациях *B. inermis* наибольшая на красно-бурых глинах (44,6 %), на лессах и лессовидных суглинках (39,3 %), наименьшая – на насыпном слое чернозема (30,5 %) и на серо-зеленых глинах (33,9 %).

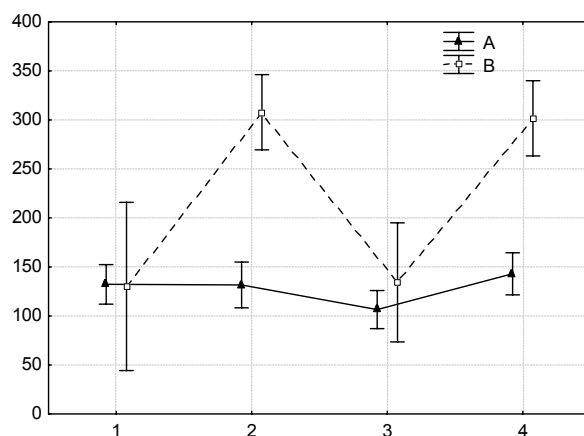


Рис. 3. Изменение фитомассы в зависимости от типа техноземов и растительных ассоциаций (г/ 0,25 м²): по оси абсцисс – типы техноземов: 1 – серо-зеленые глины, 2 – насыпной слой чернозема, 3 – красно-бурые глины, 4 – лессы и лессовидные суглинки; по оси ординат – фитомасса; растительные ассоциации: *A – Bromopsis inermis*, *B – Melilotus officinalis*; вертикальные линии указывают 95 % доверительный интервал

Влияние типа технозема и растительной ассоциации на фитомассу статистически достоверно, что подтверждает проведенный дисперсионный анализ (табл. 3). В проведенном анализе учтено действие таких факторов как тип растительных ассоциаций (два уровня фактора – *B. inermis* и *M. officinalis*), тип техноземов (четыре уровня – серо-зеленые глины, насыпной слой чернозема, красно-бурые глины, лессовидные суглинки) и их взаимодействие. Важным результатом дисперсионного анализа стало не только подтверждение зависимости фитомассы от типа растительности (тривиальный ре-

зультат, который является следствием габитуальных особенностей видов-эдификаторов) и типа техноземов, но и выявление взаимосвязи между этими свойствами агробиогеоценоза в их влиянии на продукцию.

Таблица 3

Дисперсионный анализ влияния типа техноземов и растительных ассоциаций на фитомассу

Переменная	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат эффекта	F	p-уровень
Свободный член	1795602	1	1795602	475,77	0,00
Ассоциации	121122	1	121122	32,09	0,00
Тип техноземов	152425	3	50808	13,46	0,00
Ассоциации * тип техноземов	92631	3	30877	8,18	0,00
Ошибка	573660	152	3774	—	—

Взаимодействие проявляет себя в том, что для ассоциаций *M. officinalis* наиболее предпочтительными техноземами являются лессовидные суглинки и насыпной слой чернозема. На этих субстратах ассоциации *B. inermis* не показывают существенного прироста фитомассы, но на красно-бурых глинах продукция этой растительной группировки существенно снижается.

Взаимодействие эдафических особенностей и специфика экологических связей внутри сообществ приводит к формированию закономерной изменчивости в пространстве фитомассы растительных ассоциаций (рис. 3).

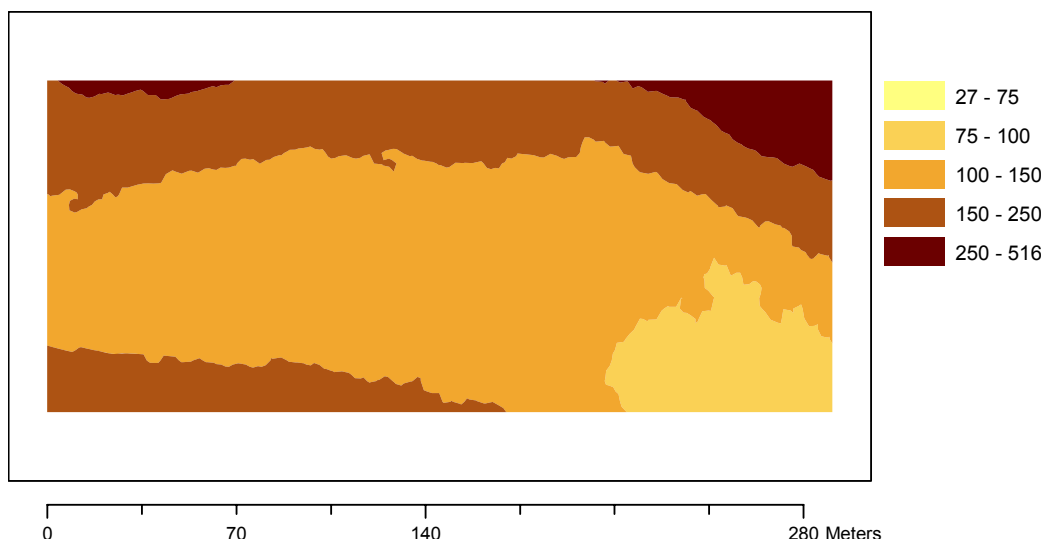


Рис. 3. Пространственное распределение фитомассы в пределах экспериментального участка (г/0,25 м²)

На карте показаны сплошные участки с высоким уровнем фитомассы (190–560 г/м²), связанные преимущественно с местами залегания насыпного слоя чернозема и лессовидных суглинков. Депрессии первичной продукции (уровни фитомассы 10–120 г/м²) связаны с серо-зелеными и красно-бурыми глинами.

Эдафические условия оказывают влияние на первичную продукцию. Воздействие агрегатного состава и количества гумуса может быть описано с помощью линейных регрессионных моделей (табл. 4, 5).

Таблица 4

Регрессионная модель влияния свойств техноземов (агрегатное состояние и гумус)
на фитомассу ассоциации *Bromopsis inermis* ($R = 0,54$, $F_{(6, 126)} = 8,04$, $p < 0,001$)

Переменные	β	Ст. ошибка β	B	Ст. ошибка B	$t_{(126)}$	p
Свободный член	–	–	151,92	23,29	6,52	0,00
Агрегаты 7–10 мм	0,19	0,09	3,06	1,48	2,08	0,04
Агрегаты 3–5 мм	–0,17	0,10	–1,71	0,99	–1,73	0,09
Агрегаты 1–3 мм	–0,16	0,09	–1,09	0,58	–1,88	0,06
Агрегаты 0,25–0,50 мм	–0,31	0,10	–3,35	1,11	–3,02	0,00
Гумус, %	0,19	0,08	35,68	14,50	2,46	0,02

Примечания: β – стандартизированные регрессионные коэффициенты, B – регрессионные коэффициенты.

Для каждой модели отобраны наиболее информационно ценные совокупности предикторов, поэтому их перечни для двух типов растительных ассоциаций не совпадают. Ценность определялась по уровню значимости предиктора ($< 0,05$), а также изменением свойств модели после удаления предиктора из регрессионной совокупности. Переменная «Агрегаты 3–5 мм» не является статистически достоверной (уровень значимости 0,09) в регрессионной модели для *B. inermis*, однако удаление этой переменной значительно снижает уровень значимости коэффициентов для других переменных.

Таблица 5

Регрессионная модель влияния свойств техноземов (агрегатное состояние и гумус)
на фитомассу ассоциации *Melilotus officinalis* ($R = 0,93$, $F_{(9, 17)} = 11,96$, $p < 0,001$)

Переменные	β	Ст. ошибка β	B	Ст. ошибка B	$t_{(126)}$	p
Свободный член	–	–	–408,55	104,73	–3,90	0,00
Агрегаты 7–10 мм	0,76	0,20	28,26	7,42	3,81	0,00
Агрегаты 5–7 мм	0,60	0,22	22,68	8,25	2,75	0,01
Агрегаты 3–5 мм	1,73	0,28	45,09	7,42	6,08	0,00
Агрегаты 1–3 мм	–1,01	0,19	–22,73	4,20	–5,42	0,00
Агрегаты 0,5–1 мм	–0,37	0,19	–18,24	9,22	–1,98	0,06
Агрегаты 0,25–0,5 мм	–0,43	0,39	–14,57	13,21	–1,10	0,29
Агрегаты $< 0,25$ мм	–0,47	0,21	–13,68	6,00	–2,28	0,04
Гумус, %	0,45	0,10	218,27	47,38	4,61	0,00
$K_{ст-2}$	–3,87	0,66	–617,70	105,19	–5,87	0,00

Примечание: см. табл. 4.

Реакция растительных ассоциаций *B. inermis* и *M. officinalis* на действие эдафических факторов имеет свои особенности. Гумус способствует увеличению продуктивности растительных сообществ. Ассоциации *M. officinalis* более чувствительны к этому почвенному свойству ($\beta = 0,45$), чем ассоциации *B. inermis* ($\beta = 0,19$) (β – регрессионный коэффициент, рассчитанный для стандартизированных переменных, то есть они могут быть сравнены между собой). Для ассоциаций *M. officinalis* агрегатный состав является более важным стимулирующим фактором (для агрегатов 3–5 мм $\beta = 1,73$), чем количество гумуса. Для ассоциаций *B. inermis*, напротив, увеличение агрегатов размерами 0,25–5 мм негативно сказывается на продуктивности. Только увеличение количества агрегатов 7–10 мм способствует увеличению фитомассы.

Выводы

Влияние агрегатной структуры техноземов на фитомассу имеет общий характер для ассоциаций *B. inermis* и *M. officinalis*: увеличение крупных агрегатов (размером 7–10 мм для *B. inermis* и 3–10 мм для *M. officinalis*) позитивно сказывается на первичной

продукции. Увеличение мелких фракций негативно сказывается на биомассе растительных группировок.

Полученные результаты регрессионного анализа свидетельствуют о том, что в техноземах агрегаты с граничными размерами 3 мм оказывают противоположное влияние на рост растений. Увеличение количества агрегатов с размерами, превышающими 3 мм, способствует увеличению первичной продуктивности агробиогеноценозов на рекультивируемых участках.

Библиографические ссылки

1. **Бекаревич Н. Е.** Породы надрудной толщи и их агробиологическая оценка // О рекультивации земель в степи Украины. – Д. : Промінь, 1971. – С. 20–37.
2. **Грицан Ю. І.** Екологічне різноманіття агробіогеноценозів як передумова впровадження системи точного землеробства на рекультивованих землях / Ю. І. Грицан, О. А. Демидов, О. В. Жуков // Структурна перебудова та екологізація економіки в контексті переходу України до збалансованого розвитку. Матер. III Українського екологічного конгресу. – К. : Центр екологічної освіти та інформації, 2009. – С. 75–78.
3. **Масюк Н. Т.** Эколого-биологические эффекты, открытые на горных породах в процессе их изучения и сельскохозяйственного освоения // Эколого-биологические и социально-экономические основы сельскохозяйственной рекультивации в степной черноземной зоне УССР // Труды ДСХИ. – Д., 1984. – С. 33–71.
4. **Родин Л. Е.** Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах / Л. Е. Родин, Н. П. Ремезов, Н. И. Базилевич. – Л. : Наука, 1968. – 143 с.
5. **Устойчивое** развитие сложных экотехносистем / В. И. Шемавнев, Н. А. Гордиенко, В. И. Дырда, В. О. Забалуев. – М.–Д., 2005. – 355 с.
6. **Цыганов Д. Н.** Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. – М. : Наука, 1983. – 196 с.
7. **Ellenberg H.** Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. – Stuttgart: Aufl. Ulmer, 1996. – 1096 s.
8. **Ellenberg H.** Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas. – Göttingen: Goltze, 1974. – 97 s.
9. **Landolt E.** Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora // Veröff. Geobot. Inst. ETH. – 1977. – H. 64. – 208 s.

Надійшла до редколегії 12.01.2010

УДК 581. 02:581.9.9:712.42

Г. А. Заїко, Ю. В. Лихолат

Дніпропетровський національний університет ім. Олесь Гончара

**ФІЗІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СТІЙКОСТІ
ОСНОВНИХ ПРЕДСТАВНИКІВ КВІТУЧИХ ГАЗОНІВ
НА ТЕРИТОРІЇ БОТАНІЧНОГО САДУ ДНУ ім. ОЛЕСЯ ГОНЧАРА**

Досліджено активність ферментів антиоксидантного комплексу представників ґрунтопокривних рослин, що використовуються для створення квітучих газонів на різних стадіях їх розвитку. Проаналізовано 26 видів рослин за показниками активності каталази, пероксидази, поліфенолоксидази. Один з основних критеріїв стійкості рослин – рівень прооксидантно-антиоксидантних метаболічних процесів. Установлено особливості активності ферментів антиоксидантного комплексу досліджуваних рослин. Рекомендовано стійкі до несприятливих умов навколишнього середовища види рослин для створення квітучих газонів.

А. А. Заико, Ю. В. Лихолат

Днепропетровский национальный университет им. Олесь Гончара

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УСТОЙЧИВОСТИ
ОСНОВНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ЦВЕТУЩИХ ГАЗОНОВ
НА ТЕРРИТОРИИ БОТАНИЧЕСКОГО САДА ДНУ им. ОЛЕСЯ ГОНЧАРА**

Исследована активность ферментов антиоксидантного комплекса основных представителей почвопокровных растений, которые используются для создания цветущих газонов на разных стадиях их развития. Проанализировано 26 видов растений по показателям активности каталазы, пероксидазы, полифенолоксидазы. Один из основных критериев устойчивости растений – уровень прооксидантно-антиоксидантных метаболических процессов. Установлены особенности активности ферментов антиоксидантного комплекса исследуемых растений. Рекомендованы стойкие к неблагоприятным условиям окружающей среды виды растений для создания цветущих газонов.

G. A. Zajiko, J. V. Lykholat

Oles' Honchar Dnipropetrovsk National University

**PHYSIOLOGICAL FEATURES OF THE BASIC SPECIES
STABILITY OF BLOSSOMING LAWNS IN THE BOTANICAL GARDEN
OF OLES' HONCHAR DNIPROPETROVSK NATIONAL UNIVERSITY**

The research of antioxidative enzymes activity of the basic representatives of groundcover plants used for the blossoming lawns design at various stages of their development was carried out. Activity of catalase, peroxydase and polyphenoloxydase was analysed in 26 plant species. It is determined, that one of the basic criteria of plants stability is the level of prooxidative and antioxidative metabolic processes. The features of the enzymes activity of antioxidative complex in studied plants are established. The plants species resistant to adverse conditions are recommended for making the blossoming lawns.

Вступ

Головним компонентом озеленення промислових міст, підприємств, а також фітодизайну інтер'єрів різного призначення (житлових, промислових, навчальних приміщень) повинні стати газонотвірні трави [2]. Використання для створення газонів ґрунтопокривних квітучих рослин набуває значного поширення, але підібрати необхідний асортимент, не враховуючи специфіки зростання цих рослин у призначеній для озеленення зоні, неможливо [3]. Саме завдяки вміло підібраному та різноманітному асортименту декоративних рослин формується висока художня виразність оздоблення ділянок, які озеленюються, їх життєстверджувальна краса та ступінь позитивного емоційного впливу на людину [10]. Підбір рослин для цієї мети здійснюється на основі їх ферментативної активності. Синтезуються ферменти у будь-якій живій клітині та можуть проявляти активність поза нею. Дія ферментів вузько специфічна, тобто кожен фермент каталізує одну чи декілька близьких хімічних реакцій. Ферменти мають високу активність. Деякі ферментативні процеси зворотні, тобто залежно від умов одні й ті самі ферменти можуть прискорювати як процес розпаду, так і процес синтезу речовини [1; 11; 12].

Враховуючи, що в доступній літературі [8] проблемі всебічного вивчення фізіолого-біохімічних показників квітучих рослин і використання їх в озелененні приділяється незначна увага, мета нашої роботи – оцінити активність ферментів антиоксидантного комплексу основних представників ґрунтопокривних рослин, виділити найперспективніші квітково-декоративні види для створення квітучого газону.

Матеріал і методи досліджень

Об'єкти досліджень – рослини *Acinus alpinus* (L.) Moench, *Ajuga reptans* L., *Alyssum montanum* L., *Asarum europaeum* L., *Cerastium biebersteinii* DC., *Dianthus plumarius* L., *Duchesnea indica* (Andr.) Focke, *Euphorbia cyparissias* L., *Galeobdolon luteum* Huds., *Glechoma hederacea* L., *Hypericum olimpicum* L., *Lysimachia nummularia* L., *Nepeta mussinii* Spreng., *Pachysandra terminalis* Sieb. et Zucc., *Phlox subulata* L., *Polygonum affine* G. Doh., *Scutellaria alpina* L., *Sedum acre* L., *S. album* L., *S. cauticolum* Praeger, *S. kamschaticum* Fisch., *S. spurium* Bieb., *Stachys byzantina* C. Koch, *Stellaria holostea* L., *Vinca minor* L., *Viola alba* Bess., що зростали на території ботанічного саду ДНУ ім. Олеся Гончара. Розташований фактично в центрі промислового міста, ботанічний сад зазнає впливу органічних і неорганічних полутантів. У зв'язку з цим при проведенні інтродукційної роботи нам доводиться враховувати стійкість рослин до умов навколишнього середовища, одним із показників якої є рівень прооксидантно-антиоксидантних метаболічних процесів.

Визначення активності пероксидази проводили за Бояркіним [4; 9]. Пероксидаза має дві функції: власне пероксидазну та оксидазну. При виконанні пероксидазної функції цей фермент каталізує реакцію окислення різних субстратів певної хімічної природи, перекис водню виконує роль окисника. Реакція окислення йде за такою схемою: $AH_2 + H_2O_2 \rightarrow A + 2H_2O$, де AH_2 – донор водню, A – окислений донор.

Метод визначення активності ферменту, запропонований Бояркіним, ґрунтується на визначенні швидкості окислення бензидину під дією ферменту, що міститься в рослинах, до утворення продукту окислення синього кольору певної концентрації, що заздалегідь встановлюється на ФЕК.

Каталаза – оксидоредуктаза, що діє на перекис водню як акцептор за схемою: $2H_2O_2 \rightarrow O_2 + 2H_2O$. Визначення активності каталази ґрунтується на урахуванні

кількості перекису водню, що розклався під дією ферменту шляхом титрування перманганатом калію [7].

Визначення активності поліфенолоксидази базується на вимірюванні активності ферменту за швидкістю окислення парафенілендіаміну з утворенням сполук фіолетового кольору певної концентрації. Визначення активності поліфенолоксидази проводилося за Бояркіним [4].

Результати та їх обговорення

У рослин, що зростають в умовах міського середовища, виникають зміни фізико-хімічних властивостей протоплазми, що призводить до посилення вільнорадикальних процесів. У цих умовах відбувається порушення рівноваги про- та антиоксидантів у клітині [6]. За дії промислових забруднювачів на рослини в останніх проявляються неспецифічні реакції внаслідок змін активності ферментів антиоксидантного захисту. Дослідження, проведені на території вулиць міста, показали, що у рослин в умовах хронічного забруднення значно підвищується інтенсивність вільнорадикальних процесів. Про це свідчить суттєве зростання рівня прооксидантно-антиоксидантних метаболічних процесів у квітково-декоративних видів, які використовуються для створення квітучого газону. При дослідженні активності каталази досліджених об'єктів виявлено підвищену активність даного ферменту в осінній період (табл.).

Таблиця

Відмінності між активністю пероксидази, каталази та поліфенолоксидази декоративно квітучих рослин восени 2007 р. і навесні 2008 р.

Вид рослин	Пероксидаза, $X \pm m$		Каталаза, $X \pm m$		Поліфенолоксидаза, $X \pm m$	
	2007 р., осінь	2008 р., весна	2007 р., осінь	2008 р., весна	2007 р., осінь	2008 р., весна
<i>Acinos alpinus</i>	0,208 ± 0,0024	0,118 ± 0,0024	0,191 ± 0,0079	0,101 ± 0,0037	0,255 ± 0,0024	0,108 ± 0,0037
<i>Ajuga reptans</i>	0,081 ± 0,0037	0,043 ± 0,0037	0,312 ± 0,0065	0,157 ± 0,0014	0,068 ± 0,0037	0,020 ± 0,0037
<i>Alyssum montanum</i>	0,304 ± 0,0079	0,147 ± 0,0062	0,551 ± 0,0037	0,210 ± 0,0024	0,902 ± 0,0065	0,313 ± 0,0037
<i>Asarum europaeum</i>	0,276 ± 0,0050	0,159 ± 0,0037	0,428 ± 0,0037	0,202 ± 0,0037	0,068 ± 0,0014	0,025 ± 0,0037
<i>Cerastium biebersteinii</i>	0,168 ± 0,0240	0,108 ± 0,0024	0,209 ± 0,0024	0,094 ± 0,0037	0,868 ± 0,0037	0,298 ± 0,0049
<i>Dianthus plumarius</i>	0,438 ± 0,0037	0,152 ± 0,0049	0,115 ± 0,0051	0,079 ± 0,0037	0,066 ± 0,0051	0,030 ± 0,0037
<i>Duchesnea indica</i>	0,115 ± 0,0037	0,083 ± 0,0087	0,936 ± 0,0049	0,256 ± 0,0037	0,052 ± 0,0079	0,022 ± 0,0075
<i>Euphorbia cyparissias</i>	0,156 ± 0,0037	0,094 ± 0,0037	0,774 ± 0,0037	0,243 ± 0,0065	0,086 ± 0,0024	0,039 ± 0,0018
<i>Galeobdolon luteum</i>	0,040 ± 0,0028	0,016 ± 0,0014	0,451 ± 0,0037	0,200 ± 0,0024	0,102 ± 0,0051	0,040 ± 0,0014
<i>Glechoma hederacea</i>	0,120 ± 0,0020	0,070 ± 0,0010	0,544 ± 0,0028	0,172 ± 0,0049	0,187 ± 0,0014	0,098 ± 0,0012
<i>Hypericum olympicum</i>	0,089 ± 0,0037	0,040 ± 0,0037	0,577 ± 0,0037	0,181 ± 0,0051	0,067 ± 0,0014	0,027 ± 0,0037
<i>Lysimachia nummularia</i>	0,057 ± 0,0027	0,021 ± 0,0014	0,254 ± 0,0037	0,106 ± 0,0037	0,035 ± 0,0024	0,014 ± 0,0014
<i>Nepeta mussinii</i>	0,349 ± 0,0037	0,137 ± 0,0037	0,465 ± 0,0037	0,215 ± 0,0028	0,081 ± 0,0037	0,038 ± 0,0043
<i>Pachysandra terminalis</i>	0,592 ± 0,0049	0,318 ± 0,0037	0,698 ± 0,0037	0,201 ± 0,024	0,110 ± 0,0037	0,054 ± 0,0014
<i>Phlox subulata</i>	0,201 ± 0,0024	0,104 ± 0,0014	0,335 ± 0,0051	0,134 ± 0,0079	0,051 ± 0,0014	0,021 ± 0,0051
<i>Polygonum affine</i>	0,031 ± 0,0010	0,014 ± 0,0020	0,139 ± 0,0024	0,097 ± 0,0051	0,086 ± 0,0065	0,033 ± 0,0065
<i>Scutellaria alpina</i>	0,075 ± 0,0024	0,042 ± 0,0024	0,299 ± 0,0024	0,149 ± 0,0049	0,066 ± 0,0031	0,027 ± 0,0037
<i>Sedum acre</i>	0,031 ± 0,0037	0,012 ± 0,0014	0,145 ± 0,0051	0,085 ± 0,0037	0,052 ± 0,0037	0,023 ± 0,0014
<i>S. album</i>	0,145 ± 0,0024	0,091 ± 0,0024	0,286 ± 0,0057	0,134 ± 0,0037	0,065 ± 0,0024	0,025 ± 0,0037
<i>S. caudicolum</i>	0,024 ± 0,0028	0,087 ± 0,0037	0,026 ± 0,0014	0,013 ± 0,0037	0,026 ± 0,0014	0,013 ± 0,0021
<i>S. kamtschaticum</i>	0,157 ± 0,0028	0,087 ± 0,0037	0,080 ± 0,0051	0,049 ± 0,0037	0,068 ± 0,0028	0,031 ± 0,0024
<i>S. spurium</i>	0,045 ± 0,0024	0,014 ± 0,0014	0,093 ± 0,0037	0,053 ± 0,0010	0,051 ± 0,0031	0,022 ± 0,0031
<i>Stachys byzantina</i>	0,178 ± 0,0014	0,107 ± 0,0037	0,245 ± 0,0051	0,127 ± 0,0037	0,068 ± 0,0024	0,031 ± 0,0032
<i>Stellaria holostea</i>	0,348 ± 0,0037	0,191 ± 0,0043	0,321 ± 0,0029	0,151 ± 0,0037	0,782 ± 0,0075	0,224 ± 0,0037
<i>Vinca minor</i>	0,819 ± 0,0037	0,202 ± 0,0037	0,320 ± 0,0014	0,133 ± 0,0014	0,085 ± 0,0037	0,033 ± 0,0047
<i>Viola alba</i>	0,177 ± 0,0037	0,115 ± 0,0049	0,131 ± 0,0051	0,091 ± 0,0037	0,086 ± 0,0051	0,042 ± 0,0062

Одна з причин цього явища – підвищений вміст шкідливих речовин у листках рослин наприкінці періоду вегетації [5]. Аналогічна особливість відмічалася для активності пероксидази в усіх досліджених об'єктах незалежно від періоду року (див. табл.). Підвищений рівень активності ензиму підтверджує той факт [1], що джерелом активного кисню за каталітичної дії пероксидази можуть слугувати як перекис водню, так і органічні перекиси, у тому числі перекиси ненасичених жирних кислот і каротину. До субстрату, що окислюється пероксидазою за присутності перекису водню, можна віднести більшість фенолів та фенольних кислот.

Для того, щоб стримувати вищий рівень пероксидації, необхідна потужніша система захисту. При цьому стійкі до несприятливих факторів рослини мають вищі рівні антиоксидантів, тобто ефективнішу систему захисту, яка попереджає окислювальну деструкцію та забезпечує структурну та функціональну стабільність клітинних мембран [8]. У зв'язку з цим показники активності поліфенолоксидази (див. табл.) для всіх досліджених видів рослин у весняному періоді значно нижчі порівняно з показниками активності поліфенолоксидази восени.

На основі проведених досліджень активності ферментів антиоксидантного комплексу, які гальмують реакцію супероксидатзалежної пероксидації ліпідів шляхом дисмутації вільних радикалів, що формуються в результаті вільнорадикальних реакцій, дані ензими, виявляючи антиоксидантні властивості, запобігають появі первинних продуктів перекисного окислення ліпідів (ПОЛ) і завдяки цьому сповільнюють вільнорадикальні процеси на певному рівні.

Встановлені особливості зміни активності антиоксидантних ферментів дають можливість стверджувати доцільність визначення їх активності при відборі стійкого асортименту рослин для озеленення міських територій.

Висновки

Для всіх досліджених квітково-декоративних видів існують відмінності між рівнем активності каталази, пероксидази та поліфенолоксидази, причому рівень їх активності значно вищий восени. У цей період у досліджених рослин значно зростає інтенсивність вільнорадикальних процесів. Види, які відзначалися вищою активністю антиоксидантних ензимів, можна вважати стійкішими: *Alyssum montanum*, *Cerastium biebersteinii*, *Glechoma hederacea*, *Stellaria holostea*, *Vinca minor* – найперспективніші квітково-декоративні види для створення квітучого газону.

Бібліографічні посилання

1. Кретович В. Л. Введение в энзимологию. – М. : Наука, 1974. – 322 с.
2. Малораспространенные почвопокровные растения в условиях Днепропетровского ботанического сада / Н. В. Мартынова, Ю. В. Лихолат, В. Ф. Опанасенко, А. В. Свиницкая // Интродукция нетрадиционных и редких растений. Матер. VIII научно-практ. конф. – Мичуринск : Наукоград, 2008. – Т. 2. – С. 74–77.
3. Мартынова Н. В. Адаптация почвопокровных растений в антропогенных условиях / Н. В. Мартынова, Ю. В. Лихолат // Интродукция, селекция та захист рослин. Матер. II Міжнар. наук. конф. – Донецьк, 2009. – Т. 2. – С. 83–86.
4. Методы биохимического исследования растений / Под ред. А. И. Ермакова. – 3-е изд. – Л. : Агропромиздат, 1987. – 430 с.
5. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин. – 2-е вид. – К. : Либідь, 2005. – 808 с.
6. Перекисное окисление липидов и антиоксидантная система защиты в хлоропластах гороха при тепловом шоке / Л. Н. Курганова, А. П. Веселов, Т. А. Гончарова и др. // Физиология растений. – 1997. – Т. 44, № 5. – С. 725–730.

7. **Плешков Б. П.** Практикум по биохимии растений. – М. : Колос, 1968. – 183 с.
8. **Прооксидантна** реакція рослин гібриду кукурудзи кадр 267 МВ на сумісну дію гербіцидів та ґрунтової посухи / Г. С. Россихіна, О. М. Вінниченко, Ю. В. Лихолат та ін. // Наук. вісн. Нац. аграрн. ун-ту. – 2008. – Вип. 125. – С. 21–28.
9. **Хромих Н. О.** Еколого-фізіологічні аспекти гербіцидної дії на амброзію полинолисту (*Ambrosia artemisiifolia* L.) в умовах степового Придніпров'я // Автореф. дис. ... канд. біол. наук. – Д. : ДНУ, 2008. – 24 с.
10. **Цветочно-декоративные** растения для озеленения промышленных центров степной зоны Украины / Ю. В. Лихолат, Т. В. Мовчан, К. А. Дрожа и др. // Ботанические сады в XXI веке: сохранение биоразнообразия, стратегия развития и инновационные решения. Матер. научно-практ. конф., посвящ. 10-летию ботанического сада Белгородского гос. ун-та. – Белгород, 2009. – С. 265–267.
11. **Activities** of starch hydrolytic enzymes and sucrosephosphate synthase in the stem of rice subjected of water stress during grain filling / J. Yang, J. Zhang, Z. Wang, Q. Zhu // J. Exp. Bot. – 2001. – Vol. 52, N 364. – P. 2169–2179.
12. **Zayed M. A.** Effects of water and salt stressed on growth, chlorophyll, mineralions and organic solutes content and enzymes activity in mung bean seedling / M. A. Zayed, I. M. Zeid // Biol. Plant. – 1997. – Vol. 40, N 3. – P. 351–356.

Надійшла до редколегії 11.03.2010

УДК 502.75+504.062.2

В. В. Качинська

Криворізький державний педагогічний університет

СТРУКТУРА ТА РІЗНОМАНІТТЯ НАЗЕМНОЇ МЕЗОФАУНИ КОНСОРЦІЙ *ULMUS* І *POPULUS* ПРОМИСЛОВИХ ДІЛЯНОК ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ КРИВБАСУ

Розглянуто структуру та біологічне різноманіття наземної мезофауни на консорційному рівні організації екосистем. Проаналізовано показники мезофауни у консорціях *Ulmus* і *Populus* в умовах промислових ділянок гірничо-металургійного комплексу Кривбасу. Таксономічна структура наземної мезофауни характеризується незначною загальною чисельністю та кількістю таксономічних груп. Переважання хортобіонтів і герпетобіонтів свідчить про значну приуроченість фауни до детермінантів консорцій і вплив степового клімату на її структуру. Переважання у трофічній структурі фітофагів і поліфагів зумовлене суміщенням специфіки детермінантів консорцій та «зональним джерелом» формування фауни. Наземна мезофауна консорцій *Ulmus* і *Populus* в умовах промислових ділянок характеризується спрощеною таксономічною структурою з невисоким різноманіттям на всіх рівнях.

В. В. Качинская

Криворожский государственный педагогический университет

СТРУКТУРА И РАЗНООБРАЗИЕ НАЗЕМНОЙ МЕЗОФАУНЫ КОНСОРЦИЙ *ULMUS* И *POPULUS* ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА КРИВБАССА

Рассмотрены структура и биологическое разнообразие наземной мезофауны на консорционном уровне организации экосистем. Проанализированы показатели мезофауны в консорциях *Ulmus* и *Populus* в условиях промышленных территорий горно-металлургического комплекса Кривбасса. Таксономическая структура наземной мезофауны характеризуется незначительной численностью и количеством таксономических групп. Преобладание хортобионтов и герпетобионтов свидетельствует о значительной приуроченности фауны к детерминантам консорций и влиянии степного климата на ее структуру. Преобладание в трофической структуре фитофагов и полифагов обусловлено совмещением специфичности детерминантов консорций и «зональным источником» формирования фауны. Наземная мезофауна в консорциях *Ulmus* и *Populus* в условиях промышленных участков характеризуется упрощенной таксономической структурой с невысоким разнообразием на всех уровнях.

V. V. Kachinskaya

Krivyi Rig State Pedagogical University

STRUCTURE AND DIVERSITY OF GROUND MESOFAUNA IN *ULMUS* AND *POPULUS* CONSORTIA IN THE INDUSTRIAL AREAS OF MINING AND SMELTING COMPLEX OF KRIVYI RIG BASIN

The structure and biological diversity of ground mesofauna on a consortium level of organisation of ecosystems are considered. Indicators of structural organisation and biodiversity of ground mesofauna were analysed in *Ulmus* and *Populus* consortia in the conditions of industrial territories of mining and smelting complex of Krivyi Rig Basin. It is established that taxonomical structure of ground mesofauna is character-

ised by insignificant number and quantity of taxonomical groups. Prevalence of hortobionts and herpetobionts in morpho-ecological structure of the community testifies to their attachment to consortium's determinants and influence of steppe climate on its structure. Dominance of phytophages and polyphages in trophic structure is caused by a combination of consortium determinants specificity and «a zone source» of the fauna formations. The structural organisation of ground mesofauna in consortia of *Ulmus* and *Populus* in the conditions of industrial sites is characterised by simplified taxonomical structure with low biodiversity at all levels.

Вступ

Збереження та вивчення біологічного різноманіття на різних рівнях організації – основне завдання в умовах потужної антропогенної трансформації екосистем. Розглядаючи рівні організації біорізноманіття, крім існуючих базових популяційно-видового та екосистемного слід виділяти також консорційний рівень, оскільки саме при вивченні організації цих елементарних функціональних екосистем передбачається висвітлення функціонального різноманіття [2; 5–7; 18; 19]. Незначні та опосередковані типи трофічних, топічних, фабричних, форичних зв'язків розглядаються як можливий наслідок спрощення структури консорцій, що проявляється у збідненні видового складу, порушенні співвідношення між різними морфоекологічними та трофічними групами організмів. Проте для отримання повнішої інформації про структуру та функціонування консорцій крім таксономічної, морфоекологічної, трофічної структури необхідним завданням повинно бути дослідження біорізноманіття на рівнях часткової участі таксономічних, морфоекологічних і трофічних груп організмів [5–6; 16; 19], що значною мірою дозволить розробити ефективні шляхи збереження біологічного різноманіття, особливо в умовах техногенезу.

На жаль, структура та різноманіття на рівні основних блоків (гетеротрофного, автотрофного, деструкційного) консорцій вивчені недостатньо. На нашу думку, доцільно звернути увагу на деструкційний блок консорції, оскільки процеси, які відбуваються в ньому, завдяки складній взаємодії між первинними (безхребетні) та вторинними (мікроорганізми) деструкторами є одними з найважливіших процесів, що забезпечують трансформацію, міграцію та біогеохімічний кругообіг речовин у автотрофно детермінованій консорції. При цьому хімічні процеси деструкції залежать від мікроорганізмів, але швидкість розкладу опадів, величина накопичення гумусу та масштаби кругообігу речовин і енергії залежать від інтенсивності діяльності безхребетних [3; 4; 10; 17; 21].

Основний компонент блоку первинних деструкторів фіто- та мортмаси – наземна мезофауна, що через специфіку свого місцезнаходження (грунтового-підстилкового ярусу у межах фітогенного поля консорції) зазнає прямого та опосередкованого впливу техногенного навантаження, а тому може бути індикатором стану детермінантів консорцій. Вивченню наземної мезофауни в умовах техногенезу присвячено багато праць [1; 9; 13; 14; 16; 22]. Проте структурно-функціональна організація наземної мезофауни на рівні консорцій в умовах техногенезу висвітлена недостатньо. Мета цієї роботи – оцінити структуру та різноманіття наземної мезофауни у консорції *Ulmus* і *Populus* в умовах промислових ділянок Кривбасу.

Матеріал і методи досліджень

Об'єкт досліджень – консорції *Ulmus* і *Populus*, найпоширеніші у зелених насадженнях санітарно-захисних зон промислових підприємств Кривбасу [15]. Закладено 6 пробних ділянок на території 5 основних гірничозбагачувальних комбінатів (ГЗК) Кривбасу.

І ділянка – території дробильно-сортувальної фабрики ВАТ «Інгuleцький ГЗК». Ґрунти – техногенні седиментаційно-аккумулятивні (реліктові) технолесивовані. Зімк-

нутість деревостану – 0,6. Трав'яний покрив представлений *Poa compressa* L., *Sonchus oleraceus* L., *Convolvulus arvensis* L., *Dactylis glomerata* L., *Achillea nobilis* L. Проективне покриття – 80–90 %.

II ділянка – ВАТ «Південний ГЗК» на території дробильно-сортувальної фабрики. Ґрунти – техногенні седиментаційні змішано-багаточленні примітивні несформовані. Зімкнутість деревостану – 0,2. Трав'яний покрив представлений *Elytrigia repens* L., *Poa compressa* L., *Achillea submillifolia* L., *Mellilotus albus* L., *Taraxacum officinalis* L. Проективне покриття до – 65 %.

III ділянка – території цеху блюмінга гірничо-металургійного комбінату ВАТ «АрселорМітал Кривий Ріг». Ґрунти – ристоземи з бітумозними та карбонатними включеннями на оскальпованому чорноземі звичайному, в якому відмічаються процеси вторинного засолення.

IV ділянка – території мартенівського цеху гірничо-металургійного комбінату ВАТ «АрселорМітал Кривий Ріг». Ґрунти – техногенні седиментаційно-аккумулятивні шлаково-графітовані примітивні розвинуті карбонатні пилуваті. Трав'яна рослинність представлена *Elytrigia repens* L., *Galinsoga parviflora* Cav., *Diploaxis muralis* L., *Phragmites australis* Cav. Проективне покриття – близько 35 %.

V ділянка – території теплосилового цеху ВАТ «Північний ГЗК». Ґрунти – примітивні з реліктовим (техногенно-похованим) горизонтом із вторинним осолонцюванням. Пилогазове забруднення, ущільнення ґрунтів. Зімкнутість деревостану – 0,4. Рослинний покрив утворюють *Elytrigia repens* L., *Melilotus albus* Medik., *Lactuca tatarica* L. Проективне покриття сягає 40 %.

VI ділянка – території дробильно-сортувальної фабрики ВАТ «Центральний ГЗК». Ґрунти – техногенні седиментаційні примітивні з фрагментарним ґрунтоутворенням.

Кількісний облік мезофауни проведений за загальноприйнятими методиками з використанням пасток Барбера – Гейлера [8]. Угрупування наземної мезофауни визначали за такими показниками: морфоекологічна, таксономічна, трофічна структури. Для морфоекологічної та трофічної структури наземної мезофауни використані класифікації життєвих форм і дані про особливості типу живлення, руху та ярусу, який займає вид за визначниками [11; 12; 20].

До морфоекологічної структури наземної мезофауни віднесено такі життєві форми: а) епігеобіонти – включає спеціалізованих до мешкання на поверхні ґрунту представників наземної мезофауни – види родини Carabidae (*Calosoma auropunctatum* Hbst., *C. inquisitor* L.); б) герпетобіонти – мешканці підстилки і трав'яного ярусу – представники класів Gastropoda, Diplopoda, Chilopoda, родини Carabidae (*Calathus melanocephalus* L., *C. fuscipes* Pz.); в) геобіонти – представники класу Oligochaeta та мешканці нір – родина Histeridae (*Hister quadrimaculatus* L.), родина Scarabaeidae (*Onthophagus taurus* L., *O. coenobita* Hbst., *Lethrus apterus* Laxm., *Aphodius immundes* Creutz.); г) хортобіонти – включає мешканців травостою – представники ряду Orthoptera (*Decticus verrucivorus* L., *Tettigonia viridissima* L., *Acrida bicolor* L., *Calliptamus italicus* L., *Podisma pedestris* L.), ряду Hemiptera (*Eurygaster integriceps* Put., *Pirrhocoris apterus* L.), родини Carabidae (*Amara similata* Gill., *A. equestris* Duft., *A. lucida* Duft., *Zabrus spinipes* F., *Z. tenebrioides* Gz., *Pseudophonus rufipes* Deg.), родини Silphidae (*Silpha obscura* L.), родини Scarabaeidae (*Pentodon idiota* Hbst., *Miltotrogus aeguinostialis* Hbst.), родини Elateridae (*Agriotes sputator* L., *Melanotus crassicornis* Er.), родини Coccinellidae (*Coccinella septempunctata* L., *C. quatuordecimpunctulata* L.), родини Tenebrionidae (*Crypticus quisquilius* Pk., *Blaps halophila* F.-W., *Gonocephalum pusillum* F., *Opatrum sabulosum* L.), родини Meloidae (*Alosimus chalybeus* Taysch.), родини

Cerambycidae (*Dorcadion holocericeum* Kryn.), родини Lucanidae (*Dorcus parallelipedus* L.), родини Curculionidae (*Cneorrhinus albinus* Boh., *Phyllobius brevis* L., *Omius mollinnus* Boh., *Sphenophorus striatopunctata* Gz., *Cleonus piger* Scop.), родини Chrysomelidae (*Gastroidea palygoni* L., *Clytra laeviuscula* Ratz.), родини Cantharidae (*Cantharis oculata* Gebl.); д) дендрохортобійнти – види родини Scarabaeidae (*Valgus hemipterus* L., *Cetonia aurata* L.).

До трофічної структури віднесено такі трофоморфи: а) зоофаги – представники класу Chilopoda, родини Carabidae (*Calosoma auropunctatum* Hbst., *C. inquisitor* L., *Calathus melanocephalus* L., *C. fuscipes* Pz.), родини Coccinellidae (*Coccinella septempunctata* L., *C. quatuordecimpustulata* L.), родини Cantharidae (*Cantharis oculata* Gebl.), родини Histeridae (*Hister quadrimaculatus* L.); б) фітофаги – представники типу Mollusca, ряду Orthoptera (*Decticus verrucivorus* L., *Tettigonia viridissima* L., *Acrida bicolor* L., *Calliptamus italicus* L., *Podisma pedestris* L.), ряду Hemiptera (*Eurygaster integriceps* Put., *Pirrhocoris apterus* L.), родини Scarabaeidae (*Pentodon idiota* Hbst., *Lethrus apterus* Laxm., *Miltotrogus aeguinostialis* Hbst., *Valgus hemipterus* L., *Cetonia aurata* L.), родини Elateridae (*Agriotes sputator* L., *Melanotus crassicornis* Er.), родини Meloidae (*Alosimus chalybeus* Taysch.), родини Cerambycidae (*Dorcadion holocericeum* Kryn., *D. caucasicum* Kust.), родини Lucanidae (*Dorcus parallelipedus* L.), родини Curculionidae (*Cneorrhinus albinus* Boh., *Phyllobius brevis* Boh., *Omius mollinnus* Boh., *Sphenophorus striatopunctata* Gz., *Cleonus piger* Scop.), родини Chrysomelidae (*Gastroidea palygoni* L., *Clytra laeviuscula* Ratz.) в) некрофаги – представники родини Silphidae (*S. obscura* L.), родини Scarabaeidae (*Onthophagus taurus* L., *O. coenobita* Hbst., *Aphodius immundus* Creutz.); г) поліфаги – представники родини Carabidae (*Amara similata* Gill., *A. lucida* Duft., *A. equestris* Duft., *Zabrus tenebrioides* Gz., *Z. spinipes* F., *Pseudophonus rufipes* Deg.), родини Tenebrionidae (*Crypticus quisquilius* Pk., *Blaps halophila* F.-W., *Gonocephalum pusillum* F., *Opatrum sabulosum* L.); д) сапротрофи-нітроліберанти (представники наземної мезофауни, які беруть участь у розкладі та мінералізації органічних речовин, збагачених на нітроген) – представники типу Oligochaeta; е) сапротрофи-карболіберанти (представники наземної мезофауни, які беруть участь у розкладі безазотистих речовин) – Diplopoda, Mollusca, Isopoda.

Різноманіття на рівнях часткової участі таксономічних, морфоекологічних і трофічних груп організмів визначали за функціоналом Сімпсона, показником кількості таксонів, які складають комплекс мезофауни, та загальною чисельністю. Екологічна місткість екотопу визначалась за індексом KIS, який відображує такі аспекти структури як ентропію (через часткову участь таксонів), місткість екологічних ніш (через загальну чисельність вибірки) та місткість екосистеми (через кількість таксонів певного рангу) [16].

Результати та їх обговорення

Для угруповань наземної мезофауни в обох консорціях із детермінантами *Ulmus* і *Populus* характерна незначна загальна чисельність (рис. 1). Загальна чисельність наземної мезофауни має найбільші значення у консорціях *Ulmus* і *Populus* на територіях дробильно-сортувальної фабрики «Південний ГЗК» та ВАТ «Інгулецький ГЗК», середні значення – у консорціях на територіях дробильно-сортувальної фабрики ВАТ «Центральний ГЗК» та мартенівського цеху гірничо-металургійного комбінату ВАТ «АрселорМітал Кривий Ріг», мінімальні значення – у консорціях на території промислових ділянок блюмінга гірничо-металургійного комбінату ВАТ «АрселорМітал Кривий Ріг» та на території теплосилового цеху ПівнГЗК. Для групового складу угруповань наземної мезофауни в обох консорціях із детермінантами *Ulmus* і *Populus* характерне еудо-

мінування класу Insecta – ряду Coleoptera та домінування рядів Hymenoptera, Hemiptera, Diptera. Характерна особливість для групового складу консорцій *Ulmus* і *Populus* – незначна чисельність сапротрофного комплексу Oligochaeta, Mollusca, Diplopoda з поступовим зменшенням його чисельності в обох консорціях на території промислових ділянок блюмінга та мартенівського виробництва гірничо-металургійного комбінату БАТ «АрселорМітал Кривий Ріг» та теплосилового цеху БАТ «Північний ГЗК».

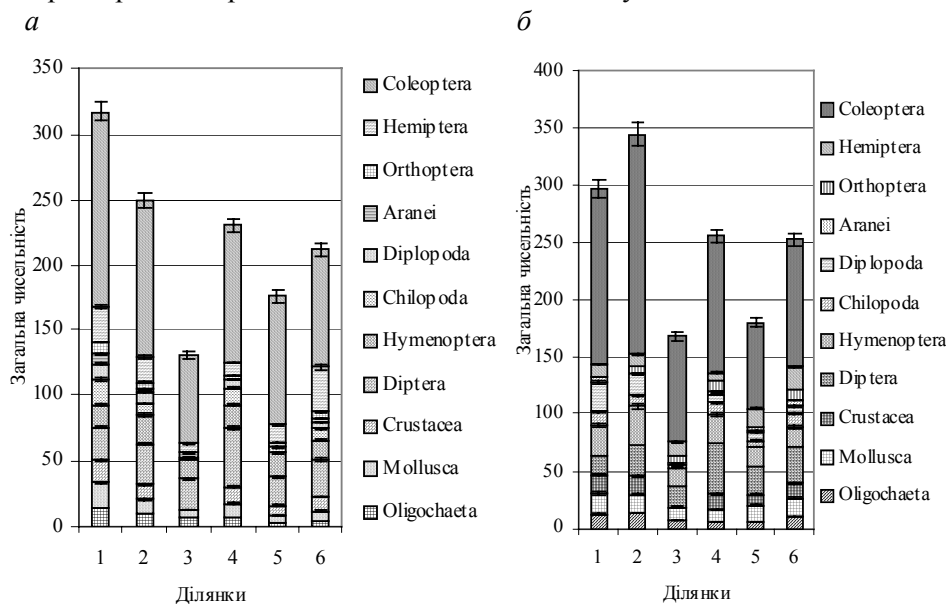


Рис. 1. Загальна чисельність наземної мезофауни (екз./1700 пастко-діб) у консорціях *Ulmus* (а) і *Populus* (б): 1 – консорції на території дробильно-сортувальної фабрики БАТ «Інгuleцький ГЗК», 2 – консорції на території дробильно-сортувальної фабрики БАТ «Південний ГЗК», 3 і 4 – консорції на території промислових ділянок блюмінга та мартенівського виробництва гірничо-металургійного комбінату БАТ «АрселорМітал Кривий Ріг», 5 – консорції на території теплосилового цеху БАТ «Північний ГЗК», 6 – консорції на території дробильно-сортувальної фабрики БАТ «Центральний ГЗК»

У родинному спектрі Coleoptera обох консорцій із детермінантами *Ulmus* і *Populus* домінантне та субдомінантне положення займають представники родин Tenebrionidae, Carabidae, Silphidae, Scarabaeidae. Представники інших родин відмічені одиничними екземплярами (рис. 2). Розбіжність у родинному спектрі відмічається лише на території мартенівського виробництва гірничо-металургійного комбінату БАТ «АрселорМітал Кривий Ріг» у консорціях *Populus*, де спостерігається висока чисельність представників родини Histeridae, що може бути пояснено збільшеною чисельністю ряду Diptera, оскільки види *Hister* – активні хижаки для личинок зоофільних мух.

Колеоптерокомплекс консорцій *Ulmus* і *Populus* збіднений (*Opatrum sabulosum* L., *Silpha obscura* L., *Calathus fuscipes* L., *C. melanocephalus* L., *Pseudophonus rufipes* Deg., *Lethrus apterus* Laxm., *Hister quadrimaculatus* L., *Amara lucida* Duft., *A. equestris* Duft., *A. similata* Gill., *Pentodon idiota* Hbst., *Cetonia aurata* L., *Coccinulla quatuordecimpustulata* L., *C. septempunctata* L., *Gonocephalum pusillum* F., *Dorcadion holocericeum* Kryn., *D. caucasicum* Kust., *Cleonus piger* Scop., *Melanotus crassicornis* Er., *Valgus hemipterus* L., *Blaps halophila* F.-W., *Alosimus chalybeus* Taysch., *Cneorrhinus albinus* Boh., *Dorcus parallelipedus* L., *Dermestes lanarius* L., *D. lardarius* L., *Miltotrogus aeguinostialis* Hbst., *Crypticus quisquilius* Pk., *Agriotes sputator* L., *Zabrus tenebrioides* Gz.,

Z. spinipes F., *Calosoma auropunctatum* Hbst., *C. inquisitor* L., *Onthophagus taurus* Schreb., *O. coenobita* Hbst., *Aphodius immundes* Creutz., *Cneorrhinus albinus* Boh., *Omius mollinus* Boh., *Sphenophorus striatopunctata* Gz., *Gastroidea palygoni* L., *Clytra laeviuscula* Ratz., *Cantharis oculata* Gebl.).

За значеннями індексу Сімпсона, який відображає часткову участь таксономічних груп у формуванні комплексу наземної мезофауни, максимальна вирівняність чисельності таксонів (0,18) властива для мезофауни консорцій *Populus* на територіях дробильно-сортувальної фабрики ВАТ «Центральний ГЗК» і мезофауни консорцій *Ulmus* на територіях дробильно-сортувальної фабрики ВАТ «Центральний ГЗК» та ВАТ «Інгулецький ГЗК» (табл. 1).

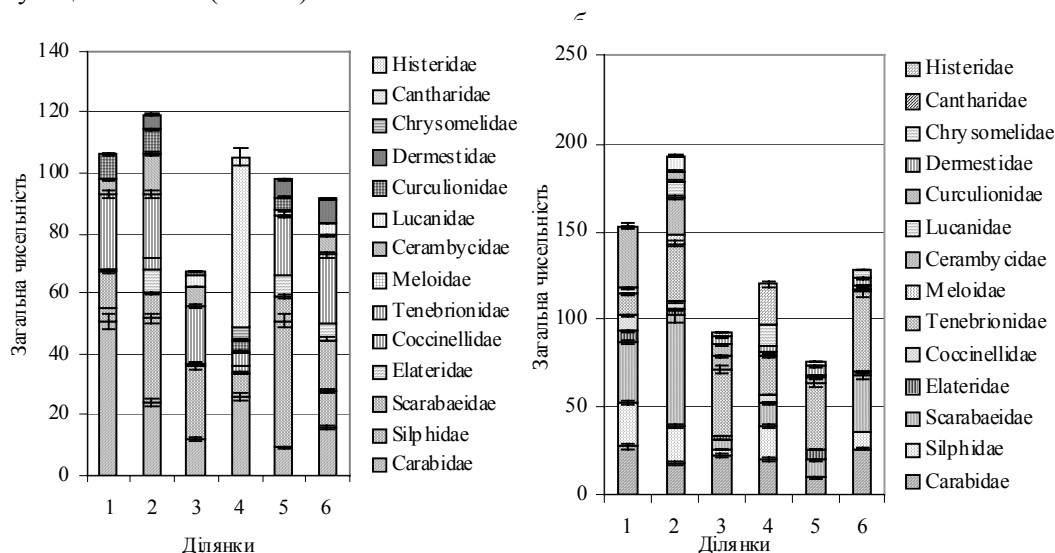


Рис. 2. Родинний спектр Coleoptera у консорціях *Ulmus* (а) і *Populus* (б):
назви ділянок див. рис. 1

Дещо менші значення S (0,16–0,17) характерні для мезофауни консорцій *Populus* на територіях дробильно-сортувальної фабрики ВАТ «Інгулецький ГЗК» і ВАТ «Південний ГЗК» та консорцій *Ulmus* на територіях дробильно-сортувальної фабрики ВАТ «Південний ГЗК» (див. табл. 1). Зменшення різноманіття спостерігається в обох консорціях із детермінантами *Ulmus* і *Populus* на території промислових ділянок блюмінга та мартенівського виробництва гірничо-металургійного комбінату ВАТ «АрселорМітал Кривий Ріг» та на території теплосилового цеху ПівнГЗК (0,10–0,13). Максимальні значення за кількістю таксономічних груп, які беруть участь у формуванні комплексу наземної мезофауни, характерні для мезофауни консорцій *Populus* на території дробильно-сортувальної фабрики ВАТ «Південний ГЗК». Дещо менші значення цього показника – у консорціях *Ulmus* і *Populus* на територіях дробильно-сортувальної фабрики ВАТ «Центральний ГЗК» і промислових ділянок мартенівського виробництва гірничо-металургійного комбінату ВАТ «АрселорМітал Кривий Ріг» і на території теплосилового цеху ПівнГЗК. Мінімальні значення властиві комплексу наземної мезофауни консорцій *Ulmus* і *Populus* території промислових ділянок блюмінга гірничо-металургійного комбінату ВАТ «АрселорМітал Кривий Ріг».

Максимальне значення індексу K_{is} , який відображає збільшення кількості та місткість екологічних ніш, властиве для мезофауни консорцій *Populus* на територіях дробильно-сортувальної фабрики ВАТ «Центральний ГЗК» та ВАТ «Південний ГЗК» та

для мезофауни консорцій *Ulmus* на територіях дробильно-сортувальної фабрики ВАТ «Інгулецький ГЗК» та ВАТ «Південний ГЗК» (табл. 1). Дещо менші значення K_{is} – у консорціях *Populus* і *Ulmus* на території промислових ділянок мартенівського виробництва гірничо-металургійного комбінату ВАТ «АрселорМітал Кривий Ріг» і територіях дробильно-сортувальної фабрики ВАТ «Центральний ГЗК». Мінімальні значення індексу K_{is} характерні для мезофауни обох консорцій із детермінантами *Ulmus* і *Populus* на території промислових ділянок блюмінга гірничо-металургійного комбінату ВАТ «АрселорМітал Кривий Ріг» і на території теплосилового цеху ПівнГЗК.

Таблиця 1

Різноманіття наземної мезофауни у консорціях *Ulmus* і *Populus*

Характеристика	Консорції <i>Populus</i>						Консорції <i>Ulmus</i>					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
N	297	345	166	256	180	269	275	249	131	230	176	214
W	17	21	16	20	18	20	17	19	14	16	16	19
S	0,17	0,16	0,11	0,12	0,10	0,18	0,18	0,17	0,12	0,13	0,11	0,18
K_{is}	1532	1982	882	1501	1029	1701	1419	1430	664	1125	921	1249

Примітки: назви ділянок див. рис. 1; N – загальна чисельність (екз./1700 пастко-діб); S – індекс Сімпсона; K_{is} – інтегрований індекс Сімпсона; W – кількість таксономічних груп.

Трофічна структура наземної мезофауни в обох консорціях із детермінантами *Ulmus* і *Populus* є бідомінантною (поліфаги та некрофаги, поліфаги та фітофаги) та тридомінантною (фітофаги, поліфаги, сапротрофи-карболітеранти) (рис. 3). Для мезофауни консорцій *Ulmus* на території дробильно-сортувальної фабрики ВАТ «Центральний ГЗК», ВАТ «Південний ГЗК», ВАТ «Інгулецький ГЗК» та мезофауни консорцій *Populus* на території мартенівського виробництва гірничо-металургійного комбінату ВАТ «АрселорМітал Кривий Ріг» властива тридомінантна структура із приблизно рівною часткою фітофагів, поліфагів, сапротрофів-карболітерантів, де субдомінантами є зоофаги та некрофаги. Бідомінантною структурою наземної мезофауни характеризуються консорції *Ulmus* на території промислових ділянок блюмінга та мартенівського виробництва гірничо-металургійного комбінату ВАТ «АрселорМітал Кривий Ріг» та на території теплосилового цеху ВАТ «Північний ГЗК» (поліфаги та некрофаги), де субдомінантами є зоофаги, фітофаги, сапротрофи-карболітеранти. Бідомінантною структурою наземної мезофауни характеризуються також консорції *Populus* на території дробильно-сортувальної фабрики «Південний ГЗК», ВАТ «Інгулецький ГЗК», блюмінга гірничо-металургійного комбінату ВАТ «АрселорМітал Кривий Ріг» та на території теплосилового цеху ВАТ «Північний ГЗК». Тут домінують поліфаги та фітофаги, субдомінанти – зоофаги, сапрофаги-карболітеранти та некрофаги.

Аналіз трофічної структури наземної мезофауни у консорціях родів *Ulmus* і *Populus* свідчить про незначну участь сапротрофів-нітролітерантів із поступовим її зменшенням у консорціях на території промислових ділянок блюмінга та мартенівського виробництва гірничо-металургійного комбінату ВАТ «АрселорМітал Кривий Ріг» та на території теплосилового цеху ВАТ «Північний ГЗК» (рис. 3). Морфоекологічна структура наземної мезофауни в обох консорціях із детермінантами *Ulmus* і *Populus* є бідомінантною (домінанти – герпетобіоти та хортобіоти). Інші морфоекологічні групи представлені одиничними екземплярами (рис. 4).

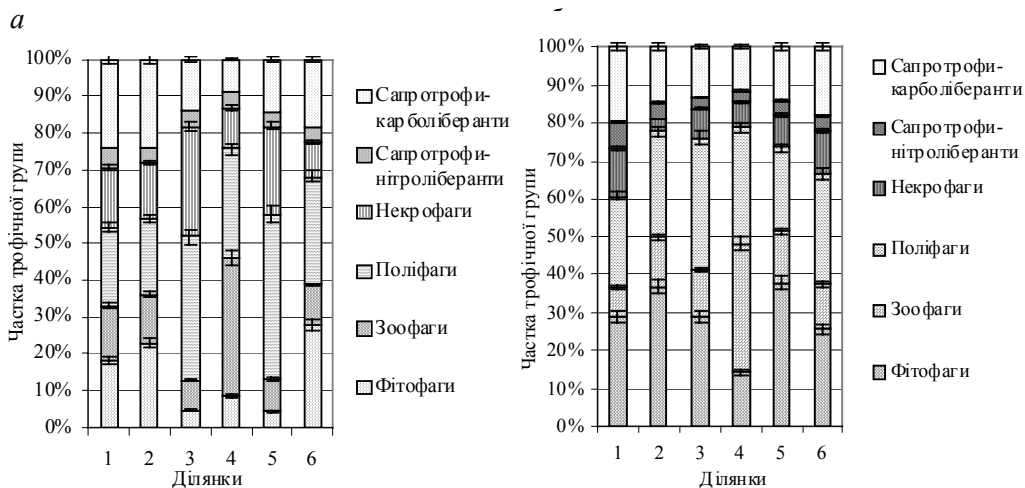


Рис. 3. Трофічна структура наземної мезофауни у консорціях родів *Ulmus* (а) і *Populus* (б): назви ділянок див. рис. 1

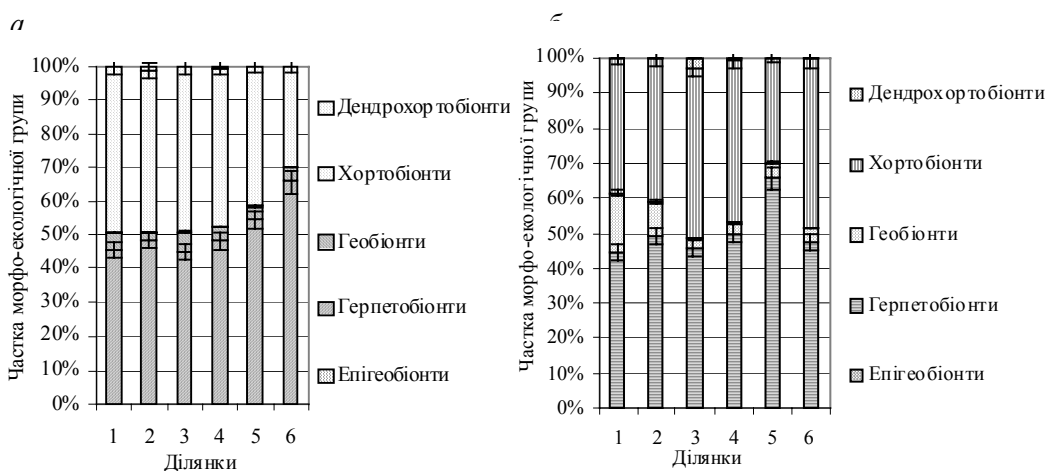


Рис. 4. Морфоекологічна структура наземної мезофауни у консорціях родів *Ulmus* (а) і *Populus* (б): назви ділянок див. рис. 1

Максимальна вирівняність морфоекологічної структури властива для мезофауни консорцій *Populus* на території теплосилового цеху ВАТ «Північний ГЗК» і для мезофауни консорцій *Ulmus* на територіях дробильно-сортувальної фабрики ВАТ «Центральний ГЗК», мінімальні значення – для мезофауни у консорціях *Populus* на території дробильно-сортувальної фабрики ВАТ «Інгулецький ГЗК» (табл. 2). Максимальна екологічна місткість характерна для мезофауни консорцій *Populus* на території дробильно-сортувальної фабрики ВАТ «Південний ГЗК», мінімальна – для мезофауни консорцій *Populus* на території теплосилового цеху ВАТ «Північний ГЗК» та мезофауни консорцій *Ulmus* на території промислової ділянки блюмінга гірничо-металургійного комбінату ВАТ «АрселорМітал Кривий Ріг». Трофічна структура має інший розподіл індексів різноманіття. Максимальна вирівняність трофічної структури властива для мезофауни консорцій *Populus* на території дробильно-сортувальної фабрики ВАТ «Південний ГЗК», мінімальна – для мезофауни консорцій *Ulmus* на території дробильно-сортувальної фабрики ВАТ «Інгулецький ГЗК». Максимальна екологічна місткість характерна для мезофауни обох консорцій із детермінантами *Ulmus* і *Populus* на території

дробильно-сортувальної фабрики ВАТ «Інгулецький ГЗК», мінімальна – для мезофауни обох консорцій із детермінантами *Ulmus* і *Populus* на промислових ділянках блюмінга гірничо-металургійного комбінату ВАТ «АрселорМітал Кривий Ріг».

Таблиця 2

**Різноманіття наземної мезофауни у консорціях *Ulmus* і *Populus*
за морфоекологічною та трофічною структурою**

Мор- фо- еколо- гічна струк- тура	Хара- ктери- стика	Консорції <i>Populus</i>						Консорції <i>Ulmus</i>					
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
струк- тура	<i>N</i>	297	345	166	256	180	269	275	249	131	230	176	214
	<i>W</i>	3	5	4	4	3	4	3	4	3	4	3	3
	<i>S</i>	0,37	0,41	0,44	0,45	0,52	0,45	0,45	0,46	0,44	0,45	0,47	0,52
	<i>K_{is}</i>	107	278	100	138	54	145	88	133	49	127	59	62
Тро- фічна струк- тура	<i>N</i>	297	345	166	256	180	269	275	249	131	230	176	214
	<i>W</i>	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	<i>S</i>	0,20	0,35	0,32	0,31	0,32	0,21	0,18	0,19	0,27	0,25	0,28	0,22
	<i>K_{is}</i>	444	412	234	340	252	407	427	390	210	337	259	334

Примітки: назви ділянок див. рис. 1; назви характеристик див. табл. 1.

Висновки

Для таксономічної структури наземної мезофауни консорцій *Ulmus* і *Populus* в умовах промислових ділянок характерні незначна загальна чисельність і кількість таксономічних груп. Співвідношення морфоекологічних і трофічних груп відображає формування деструкційного блоку консорцій під впливом зональної фауни, пертинетної дії детермінантів консорції та значного пригнічення внаслідок впливу поллютантів. Структура наземної мезофауни в консорціях *Ulmus* і *Populus* в умовах промислових ділянок характеризується спрощеною таксономічною структурою з невисоким різноманіттям на всіх рівнях. Найбільші показники різноманіття наземної мезофауни за всіма розрахованими параметрами характерні для консорцій *Ulmus* і *Populus* на територіях дробильно-сортувальної фабрики «Інгулецький ГЗК» та ВАТ «Південний ГЗК», менші значення притаманні фауні територій дробильно-сортувальної фабрики ВАТ «Центральний ГЗК» і мартенівського виробництва гірничо-металургійного комбінату ВАТ «АрселорМітал Кривий Ріг», а мінімальні – мезофауні у консорціях на територіях блюмінга гірничо-металургійного комбінату ВАТ «АрселорМітал Кривий Ріг» та теплосилового цеху ВАТ «Північний ГЗК». Встановлені показники структури та різноманіття угруповань наземної мезофауни можуть бути використані при пізнанні структурно-функціональної організації та розробки шляхів відновлення біологічного різноманіття на рівні консорцій індустріального регіону.

Бібліографічні посилання

1. **Березіна О. М.** Видовий склад мурах Інгулецького гірничо-збагачувального комбінату / О. М. Березіна, Н. М. Сметана // Проблеми природокористування та охорона рослинного і тваринного світу. Матер. І Міжнар. наук.-практ. конф. – Кривий Ріг, 2004. – С.6–8.
2. **Голубець М. А.** Екосистемологія. – Львів : Полли, 2000. – 316 с.
3. **Роль беспозвоночных в разложении и гумификации растительных остатков** / М. С. Гиляров, Т. С. Перель, Б. Р. Стриганова, Н. М. Чернова // Матер. X Междунар. конгресса почвоведов. – Т. 3. – М. : Наука, 1974. – С. 35–43.
4. **Гришина Л. А.** Гумусообразование и гумусное состояние почв. – М. : Изд-во МГУ, 1986. – 244 с.

5. **Емельянов И. Г.** Разнообразие фаунистических комплексов как показатель состояния биоты // Фауна Східних Карпат: сучасний стан і охорона. – Ужгород, 1993. – С. 8–20.
6. **Емельянов И. Г.** Таксономическое разнообразие фаунистических комплексов и стратегия сохранения генофонда животного мира / И. Г. Емельянов, И. В. Загороднюк // Проблемы изучения и сохранения биологического разнообразия. – Фрунзе : Илим, 1990. – С. 45–46.
7. **Качинська В. В.** До питання про вивчення біологічного різноманіття в ландшафтно-техногенних системах Криворіжжя // Значення та перспективи стаціонарних досліджень для збереження біорізноманіття. Матер. Міжнар. наук. конф. – Львів, 2008. – С. 168–169.
8. **Количественные** методы в почвенной зоологии / Ю. Б. Бызова, М. С. Гиляров, В. Дунгер и др. – М. : Наука, 1987. – 288 с.
9. **Квітко М. О.** Консорції в'язу на шахтних відвалах / М. О. Квітко, М. Г. Сметана // Еколого-біологічні дослідження на природних та антропогенних територіях. – Кривий Ріг, 2002. – С. 148.
10. **Курчева Г. Ф.** Роль беспозвоночных животных в разложении дубового опада // Почвоведение. – 1960. – № 4. – С. 16–23.
11. **Определитель** насекомых Европейской части СССР / Под ред. Г. Я. Бей-Биенко. – Т. 1. – М.-Л. : Наука, 1964. – 881 с.
12. **Определитель** насекомых Европейской части СССР / Под ред. Г. Я. Бей-Биенко. – Т. 2. – М.-Л. : Наука, 1965. – 666 с.
13. **Лапін Є. І.** Деякі особливості екологічної структури та сезонної динаміки активності твердокрилих техногенних біотопів Криворіжжя // Проблеми фундаментальної екології: структура угруповань. Матер. І Всеукр. конф. – Кривий Ріг : КДПІ, 1999. – С. 27–30.
14. **Лапін Є. І.** Спектри життєвих форм в техногенних екотопах Криворіжжя / Є. І. Лاپін, Т. І. Осипенко // Проблеми фундаментальної екології: структура угруповань. Матер. І Всеукр. конф. – Кривий Ріг : КДПІ, 1996. – Ч. 2. – С. 44–45.
15. **Сметана О. М.** Біогеоценотичний покрив ландшафтно-техногенних систем Кривбасу / О. М. Сметана, В. В. Перерва. – Кривий Ріг : Видавничий дім, 2006. – 290 с.
16. **Сметана О. М.** Структура наземної мезофауни Кривбасу / О. М. Сметана, Н. М. Сметана. – К. : Фітоцентр, 2005. – 227 с.
17. **Стриганова Б. Р.** Питание почвенных сапрофагов. – М. : Наука, 1980. – 243 с.
18. **Царик І. Й.** Консортивна структура сосни мугу в Чорногірському високогір'ї: Автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16. – Д.: ДГУ, 1999. – 19 с.
19. **Шеляг-Сосонко Ю. Р.** Экологические аспекты концепции биоразнообразия / Ю. Р. Шеляг-Сосонко, И. Г. Емельянов // Экология и ноосферология. – 1997. – № 1/2. – С. 131–140.
20. **Шарова И. Х.** Жизненные формы жуужелиц. – М. : Наука, 1981. – 360 с.
21. **Dunger W.** Über die Zersetzung der Laubstreu durch die Boden-Makrofauna in Auenwald // Zool. Jahrb., Syst. – 1958. – Vol. 86. – S. 129–180.
22. **Pullmanova M.** Assessment of succession stage of soil fauna in mining landscape of Karvina region // Proceedings: X Conference on Environment and Mineral Processing 22–24.6.2006 – P. 3. – Publishing services department, VŠB–Technical University of Ostrava. – S. 75–79.

Надійшла до редколегії 18.05.2010

УДК 612.397:678.012+579.6

М. О. Кісякова, Г. П. Гаврилюк, О. С. Воронкова, О. А. Сірокваша, А. І. Вінніков

Дніпропетровський національний університет ім. Олесь Гончара

ЛІПОСОМИ: СТРУКТУРА, ВЛАСТИВОСТІ, СПОСОБИ ВВЕДЕННЯ В ОРГАНІЗМ ІЗ ТЕРАПЕВТИЧНОЮ МЕТОЮ

Проаналізовано дані літератури, присвячені питанням будови, властивостей та процесу утворення ліпосом. Розглянуто переваги ліпосом при застосуванні їх у медицині. Охарактеризовано способи введення ліпосом у організм. Узагальнено дані про механізми взаємодії ліпосом із клітинами, особливості ліпідного складу ліпосом і залежність від цього їх тропності до певних органів і тканин.

М. А. Кисьякова, А. Ф. Гаврилюк, О. С. Воронкова, Е. А. Сирокваша, А. И. Винников

Днепропетровский национальный университет им. Олесь Гончара

ЛИПОСОМЫ: СТРУКТУРА, СВОЙСТВА, СПОСОБЫ ВВЕДЕНИЯ В ОРГАНИЗМ С ТЕРАПЕВТИЧЕСКИМИ ЦЕЛЯМИ

Проанализированы данные литературы, посвященные вопросам строения, свойств и процесса образования липосом. Рассмотрены преимущества липосом при использовании их в медицине. Охарактеризованы способы введения липосом в организм. Обобщены данные о механизмах взаимодействия липосом с клетками, особенности липидного состава липосом и зависимость от этого их тропизма к определенным органам и тканям.

М. А. Kisyakova, A. F. Gavrilyuk, O. S. Voronkova, E. A. Sirokvasha, A. I. Vinnikov

Oles' Honchar Dnipropetrovsk National University

LIPOSOMES: STRUCTURE, PROPERTIES AND METHODS OF CURATIVE ADMINISTRATION IN ORGANISM

A review of data from scientific sources, devoted to problems of liposomes' structure, properties and processes of formation was made. Advantages of liposomes used for medical purposes are shown. Methods of liposomes administration in an organism are characterised. Data on mechanisms of interaction between liposomes and cells, peculiarities of liposomes' lipids composition and dependence of its tropism to definite organs and tissues are generalised.

Вступ

Більшість сучасних лікарських препаратів, вживаних у традиційних формах, досить обмежено проникає через клітинні біомембрани і після надходження до організму піддається істотній біотрансформації, унаслідок чого втрачає свою фармакологічну активність. Саме тому на сьогодні при розробці нових лікарських засобів увага дослідників зосереджена на вивченні можливості збільшити здатність препаратів легко проникати через бар'єри біомембран у клітини-мішені [2].

Ліпосоми: будова та властивості

Термін «ліпосома» (лат. – «ліпідне тіло») стосується будь-яких ліпідних бішарових структур, вміст яких – водний розчин будь-якої речовини [1; 3; 5]. Це поширена модель біологічних мембран. Ліпосоми являють собою замкнені сферичні пухирці, утворені з амфідільних речовин, таких як фосфоліпіди (дифільність або амфідільність, тобто здатність одних частин макромолекули віддавати перевагу, наприклад, полярному оточенню, а інших – неполярному). При взаємодії з водними розчинами ці речовини самоорганізуються у двошарові мембрани.

Термін «мікрокапсули» для визначення ліпосом чи фосфоліпідних везикул (ФЛВ) запропоновано Д. Осто в 1970-ті роки [12]. Пік розвитку цього напрямку припадає на 1980-ті роки, коли було запатентовано основні методи одержання найрізноманітніших фосфоліпідних везикул (ФЛВ) [9]. Деякі ліпідні везикули отримали спеціальні назви, наприклад, протеоліпосоми, імуносоми, віросоми [11].

Ліпосоми – сферичні ліпідні везикули, до складу яких звичайно входять різні фосфоліпіди (фосфатидилхолін, фосфатидилсерин і фосфатидилетаноламін), специфічні глікопептиди, а також холестерин, який є стероїдним компонентом практично всіх клітинних мембран. Захисною «парасолькою» ліпосом, що забезпечує їх стабільність і тривалу циркуляцію в крові, найчастіше є поліетиленгліколь (ПЕГ) та його похідні.

Важливі характеристики ліпосом – ліпідний склад, середній діаметр і ступінь гетерогенності за розмірами. Про розподіл ліпосом за розміром можна судити за даними гельпроникної хроматографії, світлорозсіювання, ультрацентрифугування, електронної мікроскопії [14].

Особливий інтерес для тих, хто досліджує здатність ліпосом містити в собі різні речовини, становлять такі параметри: внутрішній водний об'єм (кількість водорозчинної речовини у розрахунку на 1 моль ліпиду), ефективність включення (частка водного об'єму, включеного всередину везикул). Перший параметр збільшується зі зростанням діаметра ліпосом, другий прямо пропорційний концентрації ліпиду.

Властивості ліпосом та їх поведінка визначаються насамперед наявністю в них замкнутої мембранної оболонки [16]. Деякі властивості ліпосом, такі як рідинні властивості мембрани, розмір, поверхневий заряд, залежать від ліпідного складу й технології виготовлення.

Незважаючи на молекулярну товщину (близько 4 нм), ліпідний бішар відрізняється винятковою механічною міцністю та гнучкістю. Гнучкість бішару додає ліпосомам високої пластичності. Так, ліпосоми змінюють розміри та форму у відповідь на зміну осмотичної концентрації зовнішнього водного розчину. При сильному осмотичному стресі цілісність може порушитися, і ліпосоми можуть роздібитися на частинки менших розмірів. При відповідному доборі ліпідних компонентів утворюються стабільні пухирці, які тривалий час за температури тіла не ушкоджуються в сироватці, зберігаючи свій фармакологічно активний вміст [11]. Другою важливою властивістю біомембран, яку добре модулюють ліпосоми, є проникність для різних сполук. Проникність ліпосомальної мембрани залежить від її фазового стану; вона особливо велика поблизу температури фазового переходу фосфоліпідів ліпосоми, коли молекули в мембрані максимально не впорядковані [7; 11]. Для практичного застосування ліпосом і везикул винятково важлива їх здатність включати в себе й утримувати речовини різної природи. Коло речовин, що можуть бути включеними до ліпосом, надзвичайно широке – від неорганічних іонів і низькомолекулярних органічних сполук до великих білків і

нуклеїнових кислот [1; 5; 6]. Водорозчинні препарати потрапляють до їх внутрішньої фази, а ліпофільні сполуки включаються до бішарової мембрани [1; 3].

Механізм утворення ліпосом

Формування ліпосом відбувається таким чином: фосфоліпіди при диспергуванні у воді (або органічних розчинниках) утворюють гетерогенну суміш везикулярних структур, що складається з декількох бішарових концентричних оболонок.

Молекула фосфоліпіду складається з полярної (голівки) та неполярної (хвіст жирної кислоти) частин. У водному розчині голівки фосфоліпідів експонуються назовні (у водний розчин), а хвости обернені всередину, у результаті чого утворюються мембранні везикули.

Неорганічні іони, присутні в розчині в момент набрякання фосфоліпідів, включаються всередину цих частинок й утримуються там тривалий час, обмінюючись з іонами зовнішнього розчину з дуже малою швидкістю. Так уперше було встановлено, що фосфоліпіди, які є основними компонентами клітинних мембран, здатні спонтанно утворювати у воді замкнені мембранні оболонки. Ці оболонки захоплюють у себе частину навколишнього водного розчину, а фосфоліпідна мембрана, що їх утворює, має властивості напівпроникного бар'єра, який легко пропускає воду, але перешкоджає дифузії розчинених у ній речовин [11].

Ліпосоми отримують як із природних, так і з синтетичних фосфоліпідів. Кожен із методів дозволяє не тільки отримати ліпосоми різних розмірів і з різною кількістю концентричних бішарів, а й включати до них різноманітні хімічні сполуки та біологічно активні молекули. Як правило, у вихідну ліпідну суміш вводять додатково холестерол (іноді до 40 %), що надає мембранам підвищеної міцності. Водорозчинні речовини входять до внутрішнього водного об'єму ліпосом. Наявність у бішарі достатньо довгої вуглеводневої ділянки дозволяє вводити до нього гідрофобні молекули. На поверхні бішару можна адсорбувати різні хімічні речовини, а також хімічно зв'язувати їх із ліпідами або іншими компонентами мембрани.

Способи введення ліпосом до організму та особливості їх взаємодії з клітинними мембранами

Сьогодні відомо декілька способів введення ліпосом до організму (оральний, парентеральний, внутрішньом'язовий), але у будь-якому разі ліпосоми будуть взаємодіяти з мембранами клітин різних тканин. Залежно від цього ліпідний склад ліпосом може варіювати. Методи реконструкції мембранних систем базуються на їх злитті та утворенні міжклітинних контактів. Процеси злиття мембран вивчали з використанням ліпосом, що дозволило встановити цілу низку закономірностей. Встановлено, що ліпідні бішари можуть мимовільно зливатися, якщо вони перебувають у щільному контакті. Процес «перезамкнення» мембран проходить у дві стадії: у першій виникає перемичка (сталк) між найближчими моношарами, яка розширюється, формуючи контактний бішар. На другій стадії відбувається перехід від напівзлиття до повного злиття в результаті руйнування контактного бішару, чому сприяє позитивна спонтанна кривизна віддалених моношарів і підвищений поверхневий натяг.

Припускають, що злиття мембран ініціюється змінами в їх структурі у результаті виникнення при наближенні ліпосом одна до одної внутрішньомембранного електричного поля, яке створюється зарядженими групами ліпідів. Такі зміни можна спрямовано індукувати з використанням УЗО, детергентів та органічних розчинників, а також

уведенням до системи іонів Ca^{2+} , який нейтралізує поверхневий заряд мембранних фосфоліпідів, утворюючи з ними комплекс у співвідношенні 1 : 4 [11].

Усі зовнішні чинники, які змінюють плинність бішару мембрани, наприклад, механічне напруження, детергенти, осмотичний тиск, наявність іонів, здатні впливати на процеси злиття як штучних, так і клітинних мембран.

Важливим є питання як можуть взаємодіяти мембрани ліпосоми з іншими бішаровими ліпідними мембранами. Припускають, що мембрани можуть взаємодіяти за такими принципами:

- по-перше, шляхом неповного злиття ліпосом із бішаровими ліпідними мембранами з утворенням бішару-гібриду (зовнішня мембрана ліпосоми та моношар БЛМ);

- по-друге, шляхом повного включення ліпосом та їх ділянок у бішарову мембрану;

- по-третє, вмонтовуванням ліпосом до бішару;

- по-четверте, за рахунок адгезії. Адсорбція ліпосом на мембранних бішарах відбувається за рахунок електростатичних сил. Під час злиття між контактуючими мембранами або виникає перемичка, або відбувається руйнування моношарів усередині утвореної структури [10; 11].

Результат взаємодії ліпосом із тканинами організму багато в чому залежить від способу введення.

При оральному способі ліпосоми руйнуються у травному тракті при низьких значеннях pH , ліпазами та детергентною дією жовчних солей. Уведення у кров звичайно приводить до їх захоплення клітинами ретикуло-ендотеліальної системи, переважним чином макрофагами печінки та селезінки. Одразу ж після введення ліпосоми адсорбуються на найближчій поверхні або вкриваються білками плазми (вірогідно, переважно альбумінами). Вони також можуть викликати агрегацію негативно заряджених клітин.

Після внутрішньовенного введення катіонні ліпосоми виходять із системи циркуляції за декілька хвилин [19; 22]. Відповідно до даних експериментів із радіоактивним міченням [10] більша частина їх акумулювалася в легенях. Однак кількість ліпосом значно зменшувалася (через 1 годину – 18 %, через 1 добу – 2,5 %); фракція у серці достовірно не змінювалась (5 %), у той час як у селезінці вона зростала (14 % через 1 годину, 20 % через 4 години та 18 % через 1 добу).

При парентеральному введенні розподіл ліпосом у організмі залежить від складу ліпосомальної мембрани, їх розміру, заряду, інших хімічних і фізичних параметрів везикул та іммобілізованих у них речовин, а також від способу введення. Після підшкірного введення значна кількість ліпосом депонується в місці введення та елімінується звідти переважно лімфогенним шляхом. Таким чином, місцеве введення ліпосомальних препаратів – оптимальний спосіб їх доставки до регіонарних лімфовузлів [15; 17]. При внутрішньом'язовому введенні ліпосоми здатні створювати депо препарату у місці введення, швидкість елімінації з депо залежить від розміру та властивостей ліпосом і складає період від декількох годин (якщо ліпосоми дрібні) до декількох діб (якщо великі). Дрібні бішарові ліпосоми, на відміну від великих, при внутрішньочеревному або внутрішньом'язовому введенні значно швидше проникають у кровообіг, що вказує на обмежену здатність останніх проходити крізь капіляри та мембрани судин [18]. При внутрішньовенному введенні дрібні ліпосоми виводяться з кровообігу повільніше, ніж великі [20].

Для підвищення тропності ліпосом до певних органів і тканин їх виготовляють із фосфоліпідів, ізольованих із цих органів, або фіксують на поверхні специфічні антитіла проти відповідних тканинних антигенів, чи застосовують так звані молекули-

посередники, що мають два типи спорідненості: з одного боку – до клітин макроорганізму, а з іншого – до ліпосоми [8]. Ліпіди беруть певну участь у «розпізнаванні» клітин, оскільки кожному типу мембран відповідає визначене, характерне лише для нього співвідношення полярних ліпідів [13; 15].

У процесі «розпізнавання» важливу роль відіграють також гліколіпіди (гангліозиди), що беруть участь у міжклітинних взаємодіях і є специфічними рецепторами ряду біологічно активних сполук [4]. Тобто механізм взаємодії ліпосом із клітинами визначають не лише фосфоліпіди, а й гангліозиди, що входять до складу ліпосом. Вивчення розподілу ліпосом, які містять фосфатидилхолін, холестерин і гліколіпід, при внутрішньовенному введенні в організм показало, що найкращими гліколіпідами для ліпосом відносно їх переносу в тканини головного мозку та печінки є сульфатид, у тканини селезінки – гангліозиди, у тканини легень – сфінгомієлін [8]. Наприклад, людський α -інтерферон, іммобілізований у ліпосоми, мембрана яких побудована з фосфатидилхоліну, холестерину та сульфатиду, після внутрішньочеревного введення переважно буде знайдений у крові, печінці, селезінці й пухлинній тканині мозку [21].

Висновки

Ліпосоми – ліпідні утворення, перспективні для введення до організму різних білків, зокрема ферментів (при ензимотерапії) та цитокінів (для корекції імунного статусу організму), антибіотиків, токсичних хіміопрепаратів для терапії раку тощо. Важливими характеристиками ліпосом є ліпідний склад, середній діаметр і ступінь гетерогенності за розмірами. Рідинні властивості мембрани, розмір, поверхневий заряд залежать від ліпідного складу й технології виготовлення ліпосом. Існують дані про можливість уведення ліпосом до організму оральним, парентеральним і внутрішньочеревним шляхом. Тропність ліпосом до певних органів і тканин залежить від їх ліпідного складу. Ліпосоми – перспективні носії для спрямованої доставки лікарських засобів, тому що вони малотоксичні та здатні до біодеградації.

Основні напрями діяльності в галузі застосування ліпосом – фундаментальні дослідження проникності двошарових мембран ліпосом, вивчення підвищення стабільності й однорідності їх складу, а також технологічні розробки з метою здешевлення та удосконалення виробництва ліпосомальних форм лікарських препаратів.

Бібліографічні посилання

1. **Барсуков Л. И.** Липосомы // Сорос. образов. журн. – 1998. – № 10. – С. 12–19.
2. **Барсуков Л. И.** Как собрать мембрану (Солубилизация и реконструкция мембран) // Сорос. образов. журн. – 2004. – № 1. – С. 34–39.
3. **Варпаховская И.** Липосомальные формы лекарственных средств // Ремедиум. – 1999. – № 5. – С. 26–34.
4. **Ганглиозиды** – рецепторы бактериальных токсинов и других биологически активных веществ / В. И. Ефременко, Н. И. Нарбутович, Н. Ф. Ходова и др. // Аннотированный библиографический указатель отечественной и зарубежной литературы 1976–1986 гг. – Волгоград : Б. и., 1988. – С. 202.
5. **Карпушина И. А.** Применение методики направленного транспорта лекарственных веществ в клинической практике / И. А. Карпушина, Т. Ф. Стеблева, Е. Ю. Бонитенко // Токсикология. – 2004. – Т. 5, № 12. – С. 39–46.
6. **Кобринский Г.** Липосомы в медицине // Наука и жизнь. – 1988. – № 6. – С. 23–30.
7. **Костюк О. П.** Физиологические и терапевтические свойства лактобактерий / О. П. Костюк, Л. И. Чернышова, А. П. Волоха // Педиатрия. – 1998. – № 1. – С. 71–76.

8. **Медикаментозное** преодоление анатомических и клеточных барьеров с помощью липосом / Под ред. Л. М. Кузяковой, В. И. Ефременко. – Ставрополь : Б. и., 2000. – 170 с.
9. **Мосійчук С. М.** Пробиотики: можливість застосування при гіперхолестеринемії / С. М. Мосійчук, М. Б. Хоменко // Український медичний часопис. – 2006. – № 2. – С. 10–24.
10. **Невирусный** перенос генов *in vivo* в генной терапии / Е. В. Богданенко, Ю. В. Свиридов, А. А. Московцев и др. // Вопросы медицинской химии. – 2000. – № 3. – С. 27–33.
11. **Остапченко Л. І.** Біологічні мембрани: методи дослідження структури та функцій / Л. І. Остапченко, І. В. Михайлик. – К. : Київський ун-т, 2006. – 215 с.
12. **Осто М. Д.** Липосомы // В мире науки. – 1987. – № 3. – С. 56–62.
13. **Саатов Т. С.** Аутологичные липосомы / Т. С. Саатов, Э. И. Исаев, С. А. Бурханов // Вестн. АМН СССР. – 1990. – № 8. – С. 47–50.
14. **Тенденции** в развитии исследований в области липосом: обзор патентной литературы / Н. Ю. Несьгова, Н. С. Палева, Е. В. Ильина и др. // Вест. АМН СССР. – 1990. – № 10. – С. 8–29.
15. **Шраер Т. И.** Направленный транспорт липосом в условиях ауто- и аллотрансплантации / Т. И. Шраер, С. Б. Семченко // Тез. докл. II Рос. национ. конгресса «Человек и лекарство». – М., 1995. – С. 292.
16. **Эванз У. Г.** Биологические мембраны. Методы // Под ред. Д. Б. Финдлея. – М. : Мир, 1990. – 424 с.
17. **Юлиш Е. И.** Липосомальная терапия: настоящее и будущее / Е. И. Юлиш, А. Е. Абатуров // Здоровье ребенка. – 2008. – № 1 (10). – С. 20–28.
18. **Dapergolas G.** Penetration of target areas in the rat by liposome – associated bleomycin, glucose oxidase and insulin / G. Dapergolas, E. D. Neerunjun, G. Gregoriadis // FEBS Lett. – 1976. – Vol. 63. – P. 235–239.
19. **Goren D.** Targeting of stealth liposomes to er-B2 (Her/2) receptor: *In vitro* and *in vivo* studies / D. Goren, A. T. Horowitz, S. Zalipsky // Br. J. Cancer. – 1996. – Vol. 74. – P. 1749–1756.
20. **Juliano B. L.** The effect of particle size and change on the clearance rates of liposomes and liposome encapsulated drugs / B. L. Juliano, D. Stamp // Biochem. Biophys. Res. Com. – 1975. – Vol. 63. – P. 651–658.
21. **Kato K.** Liposome – entrapped human interferon- β / K. Kato, J. Yoshida et al. // J. Clin. Biochem. and Nutr. – 1988. – Vol. 4, N 2. – P. 139–147.
22. **Tissue** distribution of the cytofectin component of a plasmid-DNA/cationic lipid complex following intravenous administration in mice / O. Rosengarten, A. T. Horowitz, D. Tzemach et al. // Cancer Gene Ther. – 1994. – Vol. 1. – P. 301–336.

Надійшла до редколегії 27.07.2010

УДК 574.5:634.9

А. Е. Пахомов, Т. М. Коновалова, А. В. Жуков

*Днепропетровский национальный университет им. Олеса Гончара
Днепропетровский государственный аграрный университет*

**ГИС-ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ
ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПОЧВЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ
ПЕДОТУРБАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ СЛЕПЫША
(*SPALAX MICROPHTHALMUS*)**

Изучено влияние роющей активности слепыша на электропроводность почв. Показана эффективность ГИС-технологий для оценки воздействия педотурбационной активности на создание гетерогенности почвенной поверхности. Предложен метод преобразования одномерного пространственно координированного массива данных в матричную форму для дальнейшей обработки методами многомерной статистики. Характеристика поверхности почвы в области пороев слепыша с помощью ландшафтных показателей сложности и разнообразия позволила количественно оценить роль роющей активности слепыша в создании разнообразия условий на уровне нанорельефа.

О. Є. Пахомов, Т. М. Коновалова, О. В. Жуков

*Дніпропетровський національний університет ім. Олеса Гончара
Дніпропетровський державний аграрний університет*

**ГИС-ПІДХІД ДО ОЦІНКИ МІНЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ
ГРУНТУ ПІД ВПЛИВОМ ПЕДОТУРБАЦІЙНОЇ АКТИВНОСТІ
СЛІПАКА (*SPALAX MICROPHTHALMUS*)**

Вивчено вплив рийної активності сліпака на електропровідність ґрунтів. Показано ефективність ГИС-технологій для оцінки впливу педотурбаційної активності на створення гетерогенності ґрунтової поверхні. Запропоновано метод перетворення одновимірного просторово координованого масиву даних у матричну форму для подальшої обробки методами багатовимірної статистики. Характеристика ґрунту в межах поріїв сліпака за допомогою ландшафтних показників складності та різноманіття дозволила кількісно оцінити роль рийної активності сліпака в утворенні різноманітності умов на рівні нанорельєфу.

T. M. Konovalova, A. V. Zhukov, A. Y. Pakhomov

*Oles' Honchar Dnipropetrovsk National University
Dnipropetrovsk State Agrarian University*

**GIS-APPROACH FOR VARIABILITY ASSESSMENT
OF SOIL ELECTRIC CONDUCTIVITY UNDER PEDOTURBATION
ACTIVITY OF MOLE RAT (*SPALAX MICROPHTHALMUS*)**

The results of the investigation of the impact of the mole rat's activity on soil electric conductivity have been presented. GIS-technology have been shown to be effective for assessment of the pedoturbation activity effect on the soil surface heterogeneity formation. Method of the one-dimension spatial coordinated array transformation into matrix form has been proposed for following multidimension statistic analysis

application. The quantity estimation of the mole rats role in formation of the habitat nanorelief-level diversity has been obtained by means of indexes of the landscape complexity and diversity.

Введение

Активность млекопитающих-почвороев является важным биогеоценотическим фактором, влияющим на различные аспекты функционирования экосистем степной зоны Украины и процессы почвообразования [4]. Формирование пространственной гетерогенности свойств почвы можно рассматривать как существенный итог педотурбационной активности микромаммалий [5]. Использование ГИС-технологий – эффективное средство изучения пространственно координированных процессов. Однако применение данного подхода требует большого количества данных и, соответственно, значительных трудозатрат для описания пространственных взаимодействий. Поэтому применение методов экспресс-оценки дополнительных почвенных свойств является условием применения ГИС-технологий в экологических исследованиях. К числу таких свойств относится электропроводность почвы.

Электропроводность почв зависит от содержания влаги, концентрации солей, содержания воздуха и температуры. При влажности, соответствующей капиллярной влагоемкости, когда дополнительное увлажнение слабо сказывается на изменении проводимости, величину электропроводности можно использовать как физическую характеристику, выявляющую особенности почвенных типов и их горизонтов [2].

Определить электрическую проводимость почв можно с помощью трех основных методик, для проведения которых необходимо получение водной вытяжки из образца: 1) метод оценки электропроводности в суспензии в соотношении 1 : 2 субстрата к воде [10]; 2) метод насыщенного экстракта [11]; 3) метод промывного экстрагирования [6]. Первые два подхода используются для проведения анализов в лабораторных условиях. Метод промывного экстрагирования разработан как быстрый и недорогой тест, который может быть проведен в полевых условиях. Несмотря на это, даже для промывного метода необходимо проведение сбора большого количества образцов. Измерения *in situ* не требуют получения вытяжки из почвенных образцов, поэтому они являются экспресс-способом обследования почв. В последние годы разработаны тестеры, которые непосредственно вводятся в почву для измерения ее электропроводности – исследования *in situ* [9]. В связи с этим цель данной работы – оценить возможности применения ГИС-подхода для оценки изменчивости электропроводности почвы на примере педотурбационной активности слепыша (*Spalax microphthalmus*).

Материал и методы исследований

Для измерения электропроводности почвы *in situ* создан ряд приборов, к числу которых относится сенсор HI 76305 (Hanna Instruments, Woodsocket, R. I.). Этот сенсор работает совместно с портативным прибором HI 993310. Тестер оценивает общую электропроводность почвы, то есть объединенную проводимость почвенного воздуха, воды и частиц. Результаты измерений прибора представлены в единицах насыщенности почвенного раствора солями (г/л). Однако нет однозначной связи между насыщенностью почвенного раствора солями и электропроводностью. Коэффициент перевода единиц электропроводности (дС/м) в единицы солёности (мг/л) варьирует: 1 дС/м = 640–700 мг/л. Это зависит от качественного состава растворенных солей [8; 12]. Неоднозначность перевода единиц измерения прибора HI 76305 в единицы электропроводности делает возможным использование только единиц солёности – г/л.

Результаты измерений электропроводности прибором HI 76305 сильно зависят от температуры почвы. Изменение температуры от +10 до +38 °C приводит к более чем

двукратному изменению показаний прибора [9]. Поэтому для получения сравнимых результатов измерения этим прибором должны проводиться при одинаковой температуре.

Исследования проведены в байраке Яцев Яр 01.04.2010 г. Урочище Яцев Яр относится к байрачным лесам южного географического варианта [1], находится вблизи с. Перше Травня (Днепропетровский р-н) ($48^{\circ}19'39,89''$ СШ и $35^{\circ}10'55,17''$ ВД). Общая протяженность байрака с запада на восток – около 5,2 км, устье упирается в р. Днепр. Порои слепышей находились в верхней трети склона южной экспозиции. Местообитание представляет собой степную целинку. Исследованы свежий порой текущего года и прошлогодний.

Измеряли электропроводность почвы в точках, находящихся в узлах квадратной сетки 11×11 с шагом 0,1 м. Сетка формирует систему координат. «Левый нижний» угол является началом координат (0; 0), «крайний правый» угол имеет координаты (10; 10). Сетка расположена так, что ось абсцисс направлена с востока на запад, а ординат – с севера на юг; геометрический центр пороя слепыша имеет координаты (5; 5), то есть совпадает с центром координатной сетки. Измерение электропроводности проводили с помощью зонда на глубине 3–5 см от поверхности почвы (вне пороя) и 3–7 см (в пределах пороя). Это связано с тем, что рыхлый субстрат пороя на небольшой глубине не плотно контактирует с зондом, и прибор показывает нулевой результат.

Результаты и их обсуждение

Порой текущего года представляет собой выброс почвы на поверхность в виде плосковершинной пирамиды высотой 15–16 и диаметром 50–55 см (рис. 1). Основание пороя имеет форму неправильной окружности. Материал, из которого состоит порой, представляет собой лессовидный суглинок темно-желтого цвета рыхлой комковатой структуры. Центральная часть пороя (кратер) характеризуется более рыхлым сложением, чем бруствер, ее окружающий. Это различие заметно при исследовании пороя зондом, внешне такого различия не наблюдается.

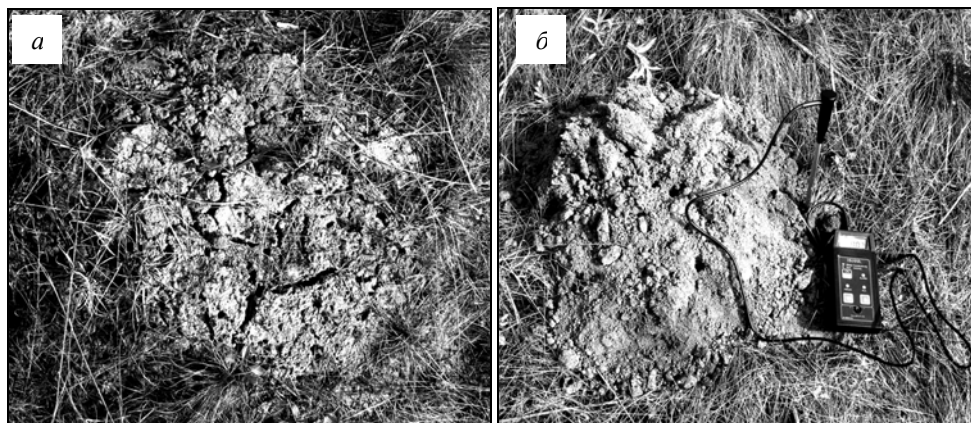


Рис. 1. Порои слепышей: а – свежий, б – прошлогодний

Прошлогодний порой представляет собой слой суглинка, который незначительно возвышается над поверхностью почвы (3–5 см) и в основании имеет форму правильного круга диаметром 57–60 см. Поверхность пороя имеет значительные трещины. Внешне и при зондировании материал имеет плотную однородную структуру. Различий между кратером и бруствером не наблюдается. Статистически электропроводность на пороях слепышей не может быть описана нормальным распределением (рис. 2).

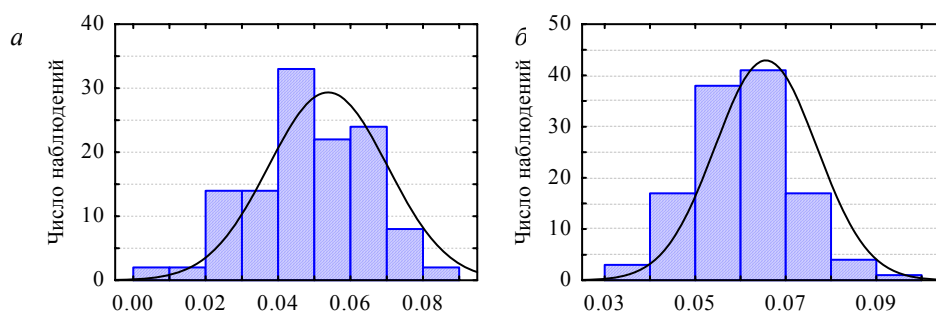


Рис. 2. Распределение электропроводности (г/л) на пороях слепышей:
а – свежий, б – прошлогодний

Критерий Колмогорова–Смирнова для электропроводности почвы на свежих пороях равен 0,14, а вероятность ошибочно принять это распределение как нормальное составляет $p < 0,05$. Для прошлогодних пороев этот показатель равен 0,17 при вероятности ошибки $p < 0,01$. Критерий Шапиро–Уилкса также позволяет отвергнуть нулевую гипотезу о нормальном характере распределения случайных величин ($W = 0,96$, $p < 0,001$ для свежих и $W = 0,93$, $p < 0,001$ для прошлогодних пороев). Величина описывается нормальным распределением, если на нее действует множество случайных помех. Отклонение от нормального распределения возникает под действием одного или нескольких факторов. Таким образом, отклонение распределения электропроводности почвы на пороях от случайного можно рассматривать как проявление структурирующего воздействия педотурбационной активности слепышей на почвенный покров.

Свежие порою отличаются от прошлогодних пониженным уровнем электрической проводимости почвы (табл. 1). Для свежих пороев этот показатель находится на уровне 0,05, а для прошлогодних – 0,07 г/л (различия достоверны по критерию Вилкоксона $W = 5,68$, $p < 0,001$). Свежий порою характеризуется большей изменчивостью электропроводности (стандартное отклонение – 0,02, диапазон колебаний показателя – 0,01–0,09 для свежих против 0,01 и 0,04–0,10 для прошлогодних пороев). Для свежих пороев наблюдается асимметричный двувёршинный характер распределения электропроводности (асимметрия – 0,24, эксцесс – 0,22), что соответствует преобладанию меньшего (левого) пика.

Распределение электропроводности на старых пороях также асимметрично, но со сдвигом влево (асимметрия – +0,18) и положительным эксцессом (0,15), что отражает «заостренный» пик распределения. Такой характер зависимости характеризует направленное увеличение электропроводности почвы под действием роющей активности слепышей.

Таблица 1

Электропроводность почвы на пороях слепышей

Порою	N	Среднее, г/л	Медиана	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение	Асимметрия	Эксцесс
Свежий	121	0,05	0,05	0,01	0,09	0,02	–0,24	–0,22
Прошлого года	121	0,07	0,07	0,04	0,10	0,01	0,18	0,15

Педотурбационная активность слепыша нарушает однородное (в выбранном масштабе) распределение почвенных свойств и приводит к формированию закономерной пространственной структуры (рис. 3, 4). В области кратера порою (центральная часть рисунка) наблюдается область пониженной электропроводности почвы, которая окружена концентрической областью повышенной электропроводности.

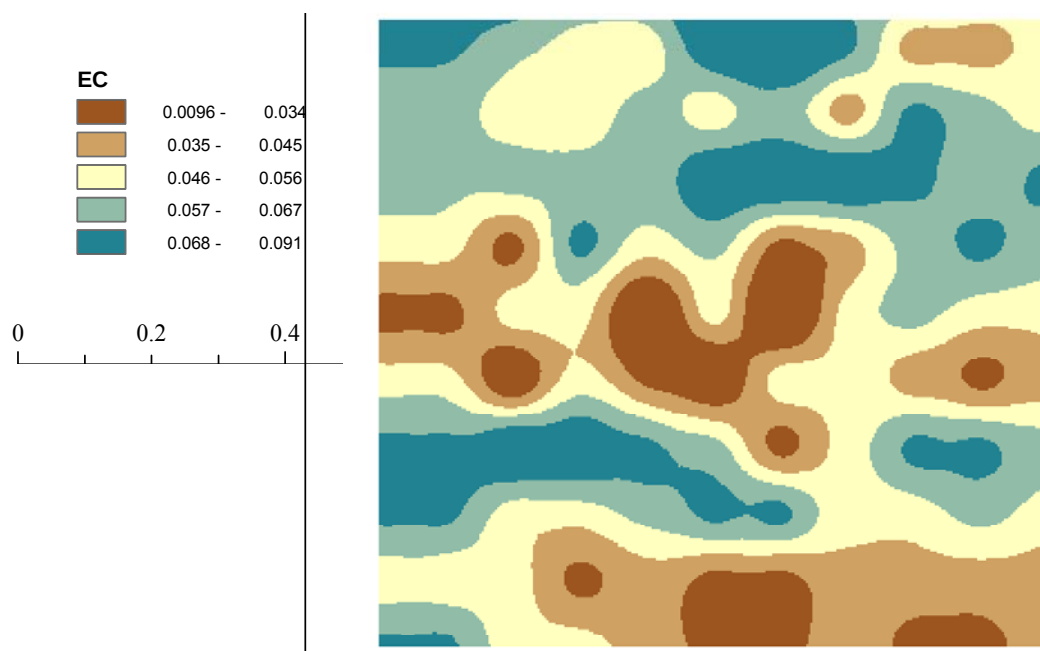


Рис. 3. Пространственная изменчивость электропроводности почвы (ЕС) в области свежего пороя слепыша

Для прошлогодних пороев характерно более выровненное распределение электропроводности почвенного покрова (рис. 4). В центральной части схемы, которая соответствует кратеру пороя, находится область остаточного увеличения уровня электропроводности. По мере удаления от геометрического центра пороя происходит снижение электропроводности до фонового уровня.

Визуальная оценка последствий педотурбационной активности приводит к мысли об увеличении пестроты почвенного покрова в области пороев слепышей. Количественная оценка пестроты покрова может быть проведена после выделения относительно однородных по своим свойствам участков – локусов. Процедура анализа может быть аналогичной той, при которой производится оценка разнообразия географической структуры единиц более высокого ранга – ландшафтов. В таком случае аналогами локусов выступают урочища в пределах ландшафта.

Для выполнения задачи классификации географического пространства используют алгоритмы кластерного анализа, при котором каждую точку пространства описывают с помощью ряда переменных, то есть речь идет о многомерном отражении свойств изучаемого объекта. В нашей работе свойства почвенного покрова описываются с помощью одномерного массива данных – показаний электропроводности почвы. Наиболее простой способ классификации в данной ситуации – выделение классов объектов по уровням этого признака. Однако такой подход является статистическим и не учитывает пространственного аспекта изменчивости признака. Поэтому необходимо на основании имеющегося одномерного массива данных сгенерировать многомерную метрику, которая бы учитывала пространственную компоненту изменчивости.

В работе В. М. Ефимова и соавт. [3] приведен алгоритм преобразования временного одномерного ряда данных в многомерную матрицу, которая в дальнейшем может быть обработана средствами анализа главных компонент. Эта процедура может быть распространена на преобразование одномерного пространственно упорядоченного

массива данных в матричную форму. Предложенная процедура основывается на описании свойств данной точки не только по данным электропроводности, которые были получены в ней, но и по показаниям в ее окрестности.

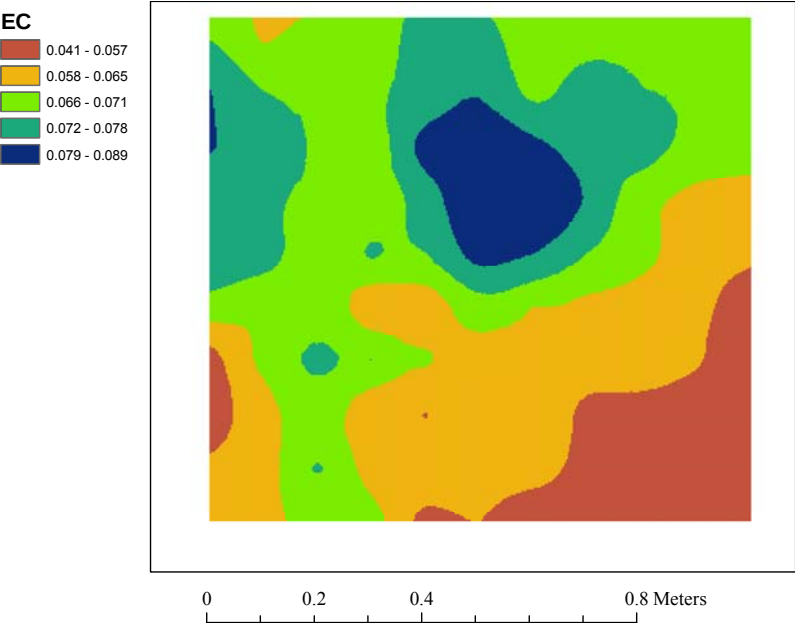


Рис. 4. Пространственная изменчивость электропроводности почвы (ЕС) в области прошлогоднего пороя слепыша

Фрагмент регулярной сетки отбора проб имеет следующий вид (рис. 5).

<i>a</i>				<i>б</i>			<i>в</i>		
1	2	3	4	1	2	3	2	3	4
5	6	7	8	5	6	7	6	7	8
9	10	11	12	9	10	11	10	11	12

Рис. 5. Фрагменты регулярной сетки отбора проб, где цифрами показаны маркеры (номера) ячеек

Одномерный массив данных (*a*), который описывает эту сетку, может быть представлен как (1, 2, 3, ..., 12). Описанием свойств ячейки 6, которые учитывают закономерности пространственной изменчивости признака в ее окрестности, будут числа, находящиеся в ячейках.

Таким образом, вектор, который характеризует ячейку 6, имеет вид (*б*): (6, 1, 2, 3, 5, 7, 9, 10, 11). Ячейку 7 будут характеризовать числа в ячейках (*в*): (7, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 11, 12). Таким образом, при смещении вдоль направлений регулярной сетки изменяется индексирование характеристических ячеек, но их взаимное расположение остается неизменным. В результате может быть получена матрица размером $9 \times N$, где N – число анализируемых точек.

Для описания свойств точки необходимо, чтобы она имела окружение из других точек во всех направлениях, чего нет у краевых точек. Можно для формирования матрицы использовать все точки, кроме краевых. Тогда это сильно сокращает объем данных. Либо значения искомого параметра могут быть экстраполированы в область ближайшего окружения изучаемого пространства, что позволит дать векторное описание всех точек пространства.

Полученная описанным способом матрица обработана средствами многомерного факторного анализа. Для пороев текущего года 9-мерное пространство может быть отображено в 3-мерном пространстве факторов (68,2 % суммарной дисперсии), собственные числа которых превышают единицу. Для прошлогодних пороев отображение может быть осуществлено в 2-мерном пространстве (58,2 % суммарной дисперсии). Только эта особенность уже подчеркивает более сложный характер пространственной изменчивости электропроводности почв в области свежих пороев слепышей.

Факторные веса использованы в качестве переменных для кластерного анализа. Для этого применена программа FuzME [7], в основе работы которой лежит алгоритм нечеткой классификации и в качестве меры расстояния между объектами используется метрика Махаланобиса. Программа FuzMe позволяет рассчитывать критерии качества классификации для каждого из выбранного диапазона числа кластеров – MPE (Modified Partition Entropies) и FPI (Fuzzy Partitioning Index). Минимум этих индексов позволяет обосновать объективный уровень разбиения целого на части (кластеры). Статистики качества разбиения на кластеры приведены на рисунке 6.

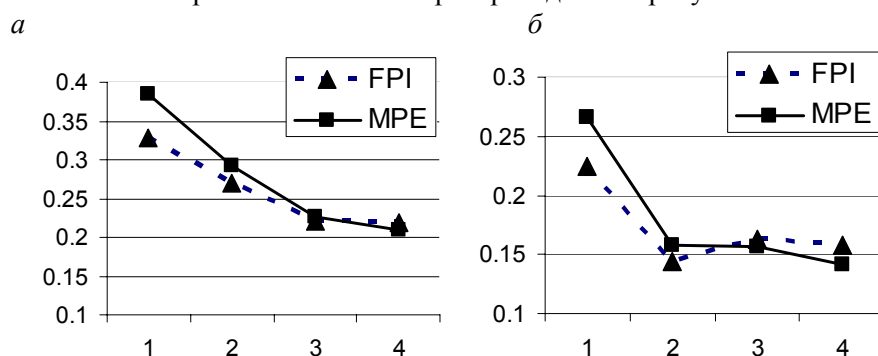


Рис. 6. Показатели качества классификации поверхности почвы по электропроводности в области пороев слепыша: а – свежие, б – прошлогодние порою; цифры по оси абсцисс – порядок разбиения (1 – два кластера, 2 – три и т. д.).

При разбиении поверхности почвы по критерию электропроводности в области свежих пороев слепыша целесообразно остановиться на четырех кластерах (локусах), а в области прошлогодних пороев – на трех кластерах (локусах). Пространственное расположение локусов представлено на рисунках 7 и 8. Организация пространства, дифференцированного на относительно однородные локусы, может быть количественно оценена с помощью ряда ландшафтных индексов. К их числу можно отнести ландшафтный индекс формы (Landscape Shape Index – LSI), среднюю фрактальную размерность и индекс разнообразия Шеннона. Эти и целый ряд других метрик могут быть рассчитаны с помощью программы Fragstat (программа, а также формулы расчета индексов – см. <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>). Оценка индексов разнообразия поверхности почвы по электропроводности в области пороев слепыша приведена в таблице 2.

Таблица 2

Метрики разнообразия поверхности почвенного покрова

Порой	Ландшафтный индекс формы	Средняя фрактальная размерность	Индекс Шеннона
Свежий	3,35	0,74	1,37
Прошлого года	2,65	0,72	1,08

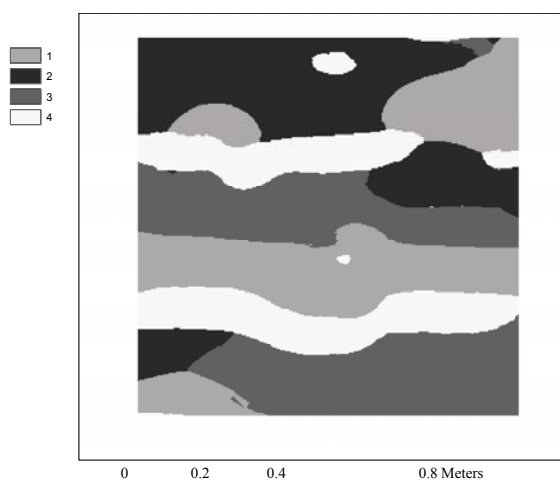


Рис. 7. Пространственная структура локусов электропроводности почвенного покрова в области свежих пороев слепыша

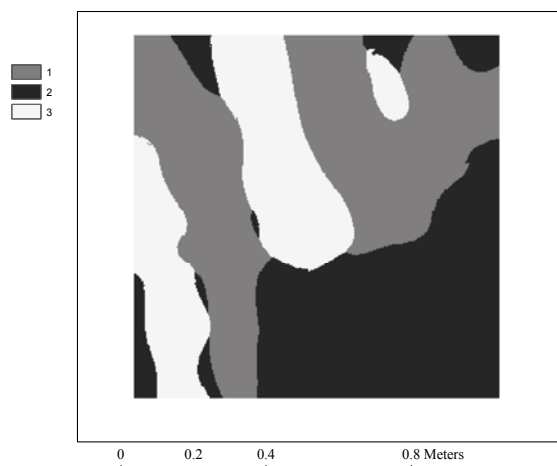


Рис. 8. Пространственная структура локусов электропроводности почвенного покрова в области прошлогодних пороев слепыша

Анализ таблицы 2 приводит к выводу о том, что окрестности свежих пороев характеризуются значительно более высоким уровнем показателей ландшафтного разнообразия. Ландшафтный индекс формы в свежих пороях превышает в 1,26 раза аналогичный показатель в прошлогодних пороях. Фрактальная размерность указывает на большую «сглаженность» формы отдельных локусов в прошлогодних пороях в сравнении со свежими. Значение индекса Шеннона имеет смысл только в пределах изучаемой рамки отбора проб и указывает на более высокий уровень разнообразия локусной организации в свежих пороях, что связано с большим числом локусов.

Выводы

Изучение электропроводности позволяет применить для изучения характера влияния педотурбационной деятельности слепыша методы геостатистического анализа. Роющая активность слепыша является важным фактором формирования мозаичности и разнообразия экологических условий почвенного покрова. С течением времени педотурбационная неоднородность почвенного покрова в области пороев снижается, однако этот процесс занимает достаточно длительный период, измеряющийся годами.

Библіографічні посилання

1. **Бельгард А. Л.** Степное лесоведение. – М. : Лесная промышленность, 1971. – 336 с.
2. **Вадюнина А. Ф.** Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М. : Агропромиздат, 1986. – 416 с.
3. **Ефимов В. М.** Анализ временных рядов методом главных компонент / В. М. Ефимов, Ю. К. Галактионов, Н. Ф. Шушпанова. – Новосибирск : Наука, 1988. – 71 с.
4. **Пахомов А. Е.** Биогеоценологическая роль млекопитающих в почвообразовательных процессах степных лесов Украины. – Т. 2. Трофический тип воздействия. Биотехнологический процесс становления экологической устойчивости эдафотопы. – Д. : ДГУ, 1998. – 216 с.
5. **Пахомов А. Е.** Положительное и отрицательное влияние экологического инжиниринга: сравнение парадигм / А. Е. Пахомов, А. В. Жуков // Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Біологія. Екологія. – 2004. – № 1. – С. 141–146.
6. **Cavins J. T.** Establishment of calibration curves for comparing pourthrough and saturated media extract nutrient values / J. T. Cavins, B. E. Whipker, W. C. Fonteno // HortScience – 2004. – Vol. 39. – P. 1635–1639.
7. **Pennisi B. V.** 3 ways to measure medium EC / B. V. Pennisi, M. W. van Iersel // GMPro. – 2002. – Vol. 22, N 1. – P. 46–48.
8. **Scoggins H. L.** *In situ* probes for measurement of EC of soil-less substrates: Effects of temperature and substrate moisture content / H. L. Scoggins, M. W. van Iersel // HortScience. – 2006. – Vol. 41. – P. 210–214.
9. **Sonneveld C.** Estimating quantities of water-soluble nutrients in soil using a specific 1:2 volume extract // Commun. Soil Sci. Plant Anal. – 1990. – Vol. 21. – P. 1257–1265.
10. **Warncke D. D.** Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method // HortScience. – 1986. – Vol. 21. – P. 223–225.
11. **Whipker B. E.** Electrical conductivity (EC): Units and conversions / B. E. Whipker, T. J. Cavins // <http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/floriculture/Florex/EC%20Conversion.pdf>

Надійшла до редколегії 20.06.2010

УДК 502.53:591.5

С. В. Кононенко

Дніпропетровський національний університет ім. Олесь Гончара

БІОІНДИКАЦІЯ ВПЛИВУ АВТОТРАНСПОРТУ НА МІКРОФАУНУ У МЕЖАХ м. ДНІПРОПЕТРОВСЬК

Вивчено вплив автотранспорту на мікрофауну у м. Дніпропетровськ. Установлено, що угруповання кліщів придорожніх газонів Дніпропетровська характеризуються збідненням видовим багатством ґрунтових безхребетних, низькою чисельністю та відносно низькою стійкістю щодо природних екосистем. Домінують типові еврибіонти *Zygoribatula concina* Iord., 1990 та *Tectocephus velatus* Mich., 1880.

С. В. Кононенко

Днепрпетровский национальный университет им. Олесь Гончара

БИОИНДИКАЦИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОТРАНСПОРТА НА МИКРОФАУНУ В ПРЕДЕЛАХ г. ДНЕПРОПЕТРОВСК

Изучено влияние автотранспорта на микрофауну г. Днепрпетровск. Установлено, что комплексы клещей придорожных газонов Днепрпетровска характеризуются обедненным видовым составом почвенных беспозвоночных, низкой численностью и относительно низкой устойчивостью к природным экосистемам. Доминируют типичные еврибионты *Zygoribatula concina* Iord., 1990 и *Tectocephus velatus* Mich., 1880.

S. V. Kononenko

Oles' Honchar Dnipropetrovsk National University

BIOINDICATION OF MOTOR TRANSPORT INFLUENCE ON MICROFAUNA IN DNIPROPETROVSK CITY

Influence of motor transport on microfauna in Dnipropetrovsk city is studied. It is established that mites groupments of roadside lawns in Dnipropetrovsk are characterised by the impoverished species richness of soil invertebrates, low number and relatively low resistance in relation to natural ecosystems. Dominant species are typical eurybionts *Zygoribatula concina* Iord., 1990 and *Tectocephus velatus* Mich., 1880.

Вступ

Взаємозв'язки та цикли процесів кругообігу знаходять локальне відображення у ґрунті, який є складною комплексною системою, що включає не тільки різні за своєю суттю абіотичні, біотичні, біокосні тіла, а також і суму факторів геолого-географічного середовища, що впливають на них [2]. Придорожні газони великого промислового міста – своєрідне природне місцеперебування живих організмів. Це пояснюється специфічністю ґрунтового та рослинного покривів із сильним антропогенним навантаженням на них. Орибатидні кліщі як біоіндикатори умов забруднення ґрунтів хімічними сполуками автотранспорту та промислових підприємств [1; 3; 5; 11] утягують до кругообігу речовин разом із рослинним опадом практично всі хімічні елементи

[9] та, накопичуючи їх, здатні відображати особливості навколишнього середовища. Однак угруповання кліщів придорожніх газонів міст практично не вивчене [10; 12]. Подібні дослідження не проводилися в м. Дніпропетровськ.

У зв'язку з цим мета цієї роботи – виявити особливості видового складу, чисельності та структури населення орибатид ґрунтів придорожніх газонів м. Дніпропетровськ. Отриманні результати можуть бути рекомендовані для використання при виконанні екологічної експертизи та біоіндикації навколишнього середовища в інших великих промислових містах степової зони.

Матеріал і методи досліджень

Збирали матеріал поетапно протягом двох місяців (жовтень – листопад 2009 року): ґрунтові проби доставляли в лабораторію, виганяли орибатид за допомогою апарата Тульгрена за загальноприйнятою методикою [6], фіксували, виготовляли мікропрепарати. Для дослідження обрали 30 дослідних ділянок, розміщених уздовж автомобільних доріг. Газони являли собою переважно 1–2-рядні насадження фонових видів дерев (липа серцевидна *Tilia cordata*, клен ясенелистий *Acer negundo*, робінія псевдоакація *Robinia pseudoacacia*, тополя біла *Populus alba*, береза бородавчаста *Betula pendula*) та збіднений видовий склад травостою (*Taraxacum officinale*, *Lactuca tatarica*, *Polygonum aviculare*, *Ambrosia artemisifolia*, *Plantago major* тощо), а також із ущільненим ґрунтом.

Проби відбирали об'ємом 250 см³ в 10-разовій повторності. У ході роботи відібрано 300 проб. Обробку матеріалу проводили за загальноприйнятою методикою О. М. Буланової-Захваткіної [4; 8]. При обробці матеріалу використовували загальноприйняті методи варіаційної статистики [7]. Розраховували індекс домінування Бергера–Паркера (*B*), індекси видового домінування Сімпсона (*C*), різноманіття Шеннона (*H*), видового багатства Маргалефа (*J*).

Рухомі форми *НПК*, гумус, сольовий *pH* визначали в лабораторії кафедри геоботаніки, ґрунтознавства та екології Дніпропетровського національного університету ім. Олеся Гончара (табл. 1, 2). Для характеристики властивостей ґрунтів відібрано 5 контрастних за рослинним покривом пробних площ.

Таблиця 1

Хімічні властивості ґрунту штучних насаджень м. Дніпропетровськ

ПП №	K_2O , мг-екв.	сухий залишок, %	<i>pH</i> водної витяжки
1	10,1	0,0075	7,3
3	7,0	0,0076	7,2
14	8,2	0,0056	7,2
20	8,3	0,0057	7,3
16	6,8	0,0025	7,4

Таблиця 2

Агрохімічні показники ґрунту штучних насаджень м. Дніпропетровськ

ПП №	Гумус (за Тюріним), %	NO_3 , мг/кг ґрунту	P_2O_5 , мг/кг ґрунту
1	2,46	5,3	8,3
3	1,89	2,5	5,9
14	0,93	2,8	7,4
20	0,87	4,6	5,2
16	0,06	4,3	5,8

Результати та їх обговорення

У ході досліджень зареєстровано 15 видів орибатид із 15 родів 12 родин. Найбільша кількість ґрунтових безхребетних спостерігалась на ПП № 30 (2160 екз./м²), найменша – на ПП № 3 у парку ім. Писаржевського (40 екз./м²). Кількість орибатидних кліщів відносно загальної чисельності мікрофауни варіює в межах від 5,6 % (придорожні газони в районі станції метро «Металургів») до 100,0 % (район перехрестя Запорізького шосе та вул. Космічної). Порівняльний аналіз видового складу орибатидних кліщів та інших груп безхребетних тварин, вилучених із проб ґрунтів на різних дослідних ділянках, свідчить про домінування еврибіонтних видів, знайдених у багатьох промислових містах Європи. Розраховано відсоткове відношення орибатид до загальної чисельності мікрофауни, вилученої із проб.

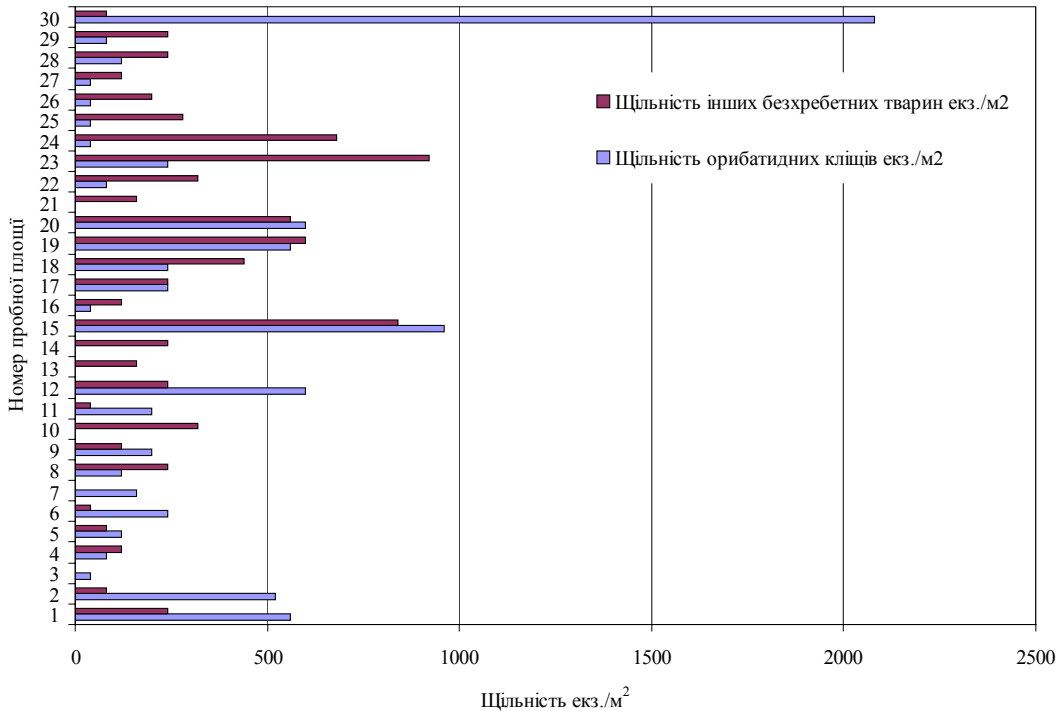


Рис. 1. Щільність безхребетних тварин у ґрунтах під впливом автотранспорту

На ПП № 1 – парк ім. Ю. Гагаріна – зареєстровано 800 екз./м² мікроартропод, на ПП № 3 – парк ім. Писаржевського – 40 екз./м², на ПП № 14 – район перехрестя вул. Титова та вул. Кірова – 240 екз./м², на ПП № 16 – парк ім. Л. Глоби – 160 екз./м², на ПП № 20 – придорожні газони по вул. Набережній ім. В. І. Леніна – 1160 екз./м².

При співвідношенні щільності всіх безхребетних із такими елементами як K_2O , NO_3 , P_2O_5 витікає, що найбільше ґрунтових тварин там, де найбільший вміст макроелементів. На найбільш гумусованих територіях спостерігається досить велика щільність усіх безхребетних, на найменш гумусованих – найменша (див. табл. 2); pH водної витяжки нейтральний для усіх вибраних пробних ділянок (див. табл. 1), відповідно умови для життєдіяльності ґрунтових безхребетних однакові.

Для ПП № 3, 10 та 21 розрахунок індексів не проводили, оскільки на даних площах зафіксовано лише по одному виду.

Максимальне значення індексу Шеннона (2,14) спостерігається на ПП № 12 в районі Жовтневої площі, де наявні у значній кількості зелені насадження, мінімальне (0,81) – на ПП № 16 та 29 (просп. К. Маркса в районі парку ім. Л. Глоби та масив Сонячний, вул. Малиновського) поблизу автомобільних доріг з інтенсивним рухом транспорту. Найбільший показник індексу домінування Сімпсона (0,70) та Бергера–Паркера (0,83) відмітили на ПП № 24 (придорожні газони в районі станції метро «Металургів»), найменший (0,26) та (0,33 і 0,36) відповідно на ПП № 2, 22 (парк ім. Писаржевського на узбіччі Запорізького шосе та придорожні газони в районі автовокзалу). Максимальне різноманіття за Маргелефом (1,72) спостерігається на ПП № 13, мінімальне (0,28) – на ПП № 17 (табл. 3).

Таблиця 3

Мікроартроподи придорожніх газонів м. Дніпропетровськ

ПП №	Назва пробної площі	<i>H</i>	<i>C</i>	<i>J</i>	<i>D</i>
1	Парк ім. Ю. А. Гагаріна (у 5 м від просп. Гагаріна)	1,92	0,32	0,93	0,45
2	Парк ім. Писаржевського (у 5 м від Запорізького шосе)	2,07	0,26	1,02	0,33
4	Проспект Гагаріна (район торгівельно-розважального комплексу «Дафі», у 5 м від Запорізького шосе)	1,52	0,36	1,72	0,40
5	Парк ім. Богдана Хмельницького (у 5 м від вул. Героїв Сталінграда)	1,92	0,28	0,86	0,40
6	Придорожні зелені газони по вул. Героїв Сталінграда (між парками ім. Писаржевського та Б. Хмельницького)	1,38	0,43	1,07	0,57
7	Район перехрестя Запорізького шосе та вул. Космічної	1,50	0,38	1,00	0,50
8	Придорожні газони по вул. Набережна Леніна (перша відбірна точка)	1,66	0,38	0,63	0,56
9	Придорожні газони по вул. Набережна Леніна (друга відбірна точка)	1,81	0,31	1,00	0,38
11	Придорожні газони по вул. Набережна Леніна (четверта відбірна точка)	1,79	0,33	1,16	0,50
12	Придорожні газони в районі Жовтневої площі	2,14	0,27	0,68	0,38
13	Придорожні газони по вул. Криворізькій	1,00	0,50	2,50	0,50
14	Район перехрестя вул. Титова та Кірова	1,46	0,39	0,39	0,50
15	Район перехрестя вул. Кірова та Пушкіна	1,27	0,45	0,36	0,53
16	Парк ім. Л. Глоби (в 5 м від проспекту Карла Маркса)	0,81	0,63	1,00	0,75
17	Придорожні газони по вул. Панікахи	1,78	0,32	0,28	0,42
18	Придорожні газони по вул. Кротова	1,45	0,44	0,73	0,59
19	Придорожні газони по вул. Космічній	1,75	0,36	0,62	0,45
20	Придорожні газони по вул. Набережна Леніна (поблизу монумента Вічної Слави)	1,61	0,37	0,82	0,52
22	Придорожні газони в районі Автовокзалу	2,12	0,26	0,87	0,36
23	Придорожні газони в районі метро «Глічча»	1,83	0,32	0,82	0,41
24	Придорожні газони в районі метро «Металургів»	0,91	0,70	0,96	0,83
25	Придорожні газони в районі метро «Заводська»	1,06	0,59	1,00	0,75
26	Придорожні газони по проспекту ім. газети «Правда» (у районі заводу К. Лібкнехта)	1,25	0,50	0,77	0,67
27	Придорожні газони по вул. Воронцова	1,50	0,38	1,26	0,67
28	Придорожні газони по вул. В. Висоцького	0,92	0,56	0,51	0,40
29	Масив Сонячний, вул. Малиновського	0,81	0,63	0,33	0,75
30	Район Краснопілля «Пашена балка»	0,96	0,64	1,04	0,76

Аналіз видового складу угруповань орибатидних кліщів на дослідних ділянках (рис.) показав, що домінантом для ґрунтів придорожніх газонів виступає *Zygoribatula concina* Iordansky, 1990 (50 %), субдомінантом – *Tectocephus velatus* Mich., 1880 (27 %). Інші види становлять 33 % сумарної чисельності.

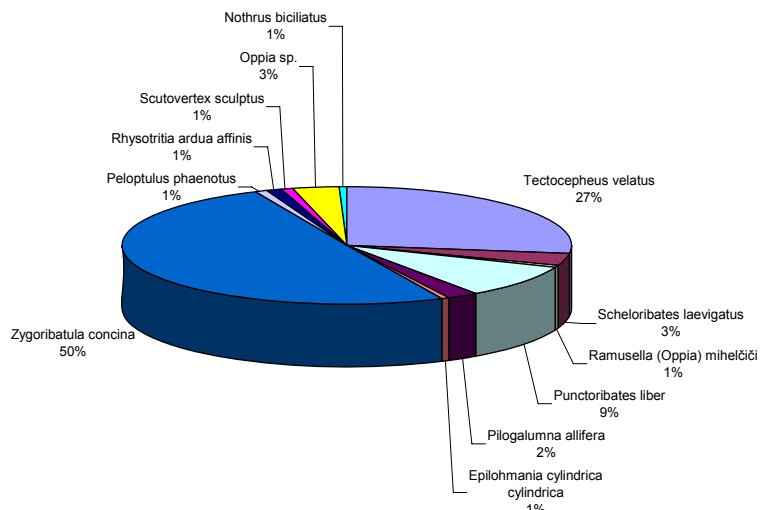


Рис. Структура домінування орибатид у ґрунтах придорожніх газонів м. Дніпропетровськ

Максимальне видове різноманіття (6 видів) і чисельність орибатидних кліщів 2 120 екз./м² спостерігали на контрольній дослідній ділянці № 30, розташованій у Краснопіллі («Пашена балка» неподалік від штучної водойми). Найбільша кількість видів (4) серед досліджених ділянок придорожніх газонів м. Дніпропетровськ виявлена на ПП № 1 та 12 із чисельністю орибатид 560 та 600 екз./м² відповідно. Такі результати можна пояснити тим, що дані площі порівняно з іншими дослідними ділянками розміщені на території парку (парк ім. Ю. Гагаріна та на площі паркового типу Жовтневій).

Висновки

Ґрунти поблизу доріг з інтенсивним рухом автомобілів перебувають під впливом викидів токсичних речовин від автотранспорту. Як наслідок, у ґрунтах накопичуються солі важких металів, що призводить до їх забруднення та непридатності для мешкання в них різних груп безхребетних тварин і збіднення фауністичного різноманіття.

Угруповання орибатидних кліщів придорожніх газонів м. Дніпропетровськ характеризуються збідненим видовим багатством, низькою чисельністю та відносно низькою стійкістю. Домінанти – типові еврибіонти *Zygoribatula concina* Iord., 1990 та *Tectocephus velatus* Mich., 1880. У ґрунтах на контрольній ділянці видовий склад різноманітніший із більшою чисельністю (в 3,5 раза), ніж на ділянках придорожніх газонів. Відсоткове відношення орибатид до загальної кількості інших безхребетних тварин на ділянках, що досліджували, складає 50,8 %.

Біоіндикація антропогенного навантаження з використанням безхребетних тварин – важливий метод виявлення комплексної екологічної відповіді на вплив антропогенної трансформації навколишнього середовища у межах міста Дніпропетровськ. Біоіндикаційні дослідження можуть проводитись на різних рівнях організації екосистем. Для зоологічних досліджень у забруднених районах зручно використовувати ґрунтових тварин.

Бібліографічні посилання

1. **Артемяева Т. И.** Почвенные животные как индикаторы биологического этапа рекультивации техногенных территорий // Проблемы почвенной зоологии. – Т. 1. – Ашхабад, 1984. – С. 16–17.
2. **Башкирова Е. Я.** Фауна клещей – орибатид целинной степи юго-востока Европейской части СССР // Зоол. журн. – 1958. – Т. 28, № 3. – С. 193–209.
3. **Богач Я.** Животные – биоиндикаторы промышленных загрязнений. – М. : Наука, 1974. – С. 25–26.
4. **Буланова-Захваткина Е. М.** Панцирные клещи – орибатида. – М. : Высш. шк., 1967. – 254 с.
5. **Гиляров М. С.** Зоологический метод диагностики почв. – М. : Наука, 1965. – 278 с.
6. **Криволицкий Д. А.** Методика комплексного обследования почв на заселенность микроартроподами // Методы почвенно-зоологических исследований. – М. : Наука, 1975. – С. 44–48.
7. **Лакин Г. Ф.** Биометрия. – М. : Высш. шк., 1990. – 352 с.
8. **Определитель** обитающих в почве клещей Sarcoptiformes / Отв. ред. М. С. Гиляров. – М. : Наука, 1975. – 491 с.
9. **Покаряевский А. Д.** Круговорот элементов и структура сообществ животных в лесостепи / А. Д. Покаряевский, А. Д. Криволицкий // Экология. – 1981. – № 4. – С. 67–72.
10. **Шарипов С. А.** Панцирные клещи в условиях города / С. А. Шарипов, Л. Косарева // Проблемы почвенной зоологии. – Новосибирск : Изд-во Новосиб. гос. ун-та, 1991. – С. 256.
11. **Ярошенко Н. Н.** Орибатида клещи (Acariformes, Oribatei) естественных экосистем Украины. – Донецк : ДонГУ, 2000. – 313 с.
12. **Soil mites (Acar)** of Warsaw and Masovia / W. Niedbala, C. Blaszk, J. Bloszyk, M. Kaliszewski, A. Kazmierski // Memoriabilia Zool. – 1982. – Vol. 36. – P. 235–252.

Надійшла до редколегії 25.06.2010

УДК 595.762.12:574.43

О. В. Корольов

Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара

**ТРОФІЧНІ ПЕРЕВАГИ *PTEROSTICHUS MELANARIUS*
(COLEOPTERA, CARABIDAE) У ВИБОРІ ОБ'ЄКТІВ ЖИВЛЕННЯ
В УМОВАХ ЛІСОВИХ БІОГЕОЦЕНОЗІВ
СТЕПОВОГО ПРИДНІПРОВ'Я**

Досліджено переваги *Pterostichus melanarius* (Illiger, 1798) у виборі потенційних об'єктів живлення в умовах лісових біогеоценозів степового Придніпров'я. Проаналізовано таксономічну, розмірно-вагову, трофічну, ценоморфічну структури запропонованих *P. melanarius* безхребетних. Встановлено критерії вибору *P. melanarius* потенційних трофічних об'єктів: твердість покривів і розміри здобичі, а також її здатність швидко пересуватися.

О. В. Королев

Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара

**ТРОФИЧЕСКИЕ ПРЕДПОЧТЕНИЯ *PTEROSTICHUS MELANARIUS*
(COLEOPTERA, CARABIDAE) В ВЫБОРЕ ОБЪЕКТОВ ПИТАНИЯ
В УСЛОВИЯХ ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ
СТЕПНОГО ПРИДНЕПРОВЬЯ**

Исследованы предпочтения *Pterostichus melanarius* (Illiger, 1798) в выборе потенциальных объектов питания в условиях лесных биогеоценозов степного Приднепровья. Проанализированы таксономическая, размерно-весовая, трофическая, ценоморфическая структуры предложенных *P. melanarius* беспозвоночных. Установлены критерии выбора *P. melanarius* потенциальных трофических объектов: твердость покровов и размеры добычи, а также ее способность быстро передвигаться.

O. V. Korolev

Oles' Honchar Dnipropetrovsk National University

***PTEROSTICHUS MELANARIUS* (COLEOPTERA, CARABIDAE)
TROPIC PREFERENCES IN FOREST BIOGEOCENOSES
OF STEPPE DNIEPER AREA**

The specific trophic preferences of *Pterostichus melanarius* (Illiger, 1798) as one of the mass ground litter zoophages of Steppe Dnieper area forests are investigated. Taxonomic, size-weight, trophic and coenomorphic structures of potential food objects offered to the *P. melanarius* were analysed. *P. melanarius* choice criteria of potential food objects were established: hardness of exoskeleton and size of victims and also victim's ability for fast moving.

Вступ

Pterostichus (*Morphnosoma*) *melanarius* (Illiger, 1798) – європейсько-сибірський неморальний вид, який трапляється у більшості природних і антропогенно трансфор-

мованих екосистем Голарктики від північної тайги до півдня степової зони. Турун поширений у лісових і лучних біогеоценозах, агро- та урбоценозах лісової та лісостепової зон країн СНД та Європи [2; 5; 7; 9; 25; 26; 31; 36; 39; 46; 49], а також гірських місцевостях [11]. Це один із домінантних елементів карабідофауни на полях Підмосков'я [8; 10; 14; 34; 37], агроценозів Самарської області [22] та у навколоводних біотопах Брянської області [3]. Значна чисельність *P. melanarius* (Ill.) спостерігається у дібровах Центрально-Чорноземного регіону Росії [6; 12] та у сибірських мертвопокровних лісах [24].

Дослідження В. Ф. Феоктистова та В. М. Душенкова [32] на території Мордовського заповідника свідчать про надання видом переваги листяним лісам із розвинутою складною ярусністю, в яких активність *P. melanarius* (Ill.) найвища. У лісопаркових насадженнях м. Саранськ *P. melanarius* (Ill.) домінував серед представників родини Carabidae [41]. В агроландшафті лісостепової зони *P. melanarius* (Ill.) звичайний у захисних лісосмугах і садах зі старими розрідженими деревами, близькими до природних місць існування туруна [33; 38]. В умовах степової зони *P. melanarius* (Ill.) в агроценозах трапляється рідко [13; 15; 23], досягаючи максимальної чисельності на посівах зернових культур, головним чином озимої пшениці [17; 30].

P. melanarius (Ill.) домінує серед інших видів роду *Pterostichus* у лісових екосистемах міських агломерацій [19]. Для цього туруна характерне пристосовування до складних умов існування зі значним антропогенним тиском [40; 44; 47; 53; 55; 57].

За системою життєвих форм імаго турунів І. Х. Шарової [35] *P. melanarius* (Ill.) належить до підстилково-грунтових стратобіонтів, що закопуються. Це активний зоофаг-герпетобіонт, який регулює чисельність багатьох підстилкових і ґрунтових безхребетних [27], у тому числі інших видів Carabidae [1]. Основу раціону *P. melanarius* (Ill.) складають слимаки, личинки та лялечки багатьох видів лускокрилих, твердокрилих, двокрилих, дощові черви, мокриці, багатоніжки та деякі представники ентомоценозу [20; 21], які відіграють винятково важливу роль у процесах розкладання мертвої рослинної та тваринної органіки, гумусоутворенні. При утриманні у лабораторії за умов відсутності вибору здобичі імаго *P. melanarius* (Ill.) здатні споживати рослинну їжу [28; 50]. Іноді вид може шкодити, випадково поїдаючи проростки зернових, технічних та інших культур [4].

Праці, присвячені дослідженню трофічних переваг *P. melanarius* (Ill.), свідчать про щільні зв'язки зоофага зі шкідниками сільського та лісового господарств. F. Oberholzer та T. Frank [54] виявили, що *P. melanarius* (Ill.) впливає на популяції слимаків *Arion lusitanicus* (Mabille) (Arionidae) і *Deroceras reticulatum* (Muller) (Agriolimacidae), живлячись яйцями та личинками молодших віків вищевказаних видів. N. S. Johansen [51] довів, що *P. melanarius* (Ill.), споживаючи яйця та лялечки *Mamestra brassicae* (L.) (Noctuidae), виступає одним із головних регуляторів чисельності цього шкідника.

За даними ряду авторів [29; 52; 56], *P. melanarius* (Ill.) активно знижує чисельність популяції *Leptinotarsa decemlineata* (Say, 1824) на ділянках із картоплею. Результати дослідження спектра живлення домінантних видів турунів картопляних полів Закарпаття, проведеного із застосуванням серологічного аналізу, свідчать про важливу роль *P. melanarius* (Ill.) у знищенні колорадського жука в усіх агрокліматичних зонах даного регіону [16].

В агроценозах *P. melanarius* (Ill.) живиться ґрунтовими личинками двокрилих, біомаса яких може сягати вагомих величин, що призводить до негативних змін у функціонуванні рослинного угруповання. С. А. Колесниковим [18] встановлено, що *P. melanarius* (Ill.) чинить суттєвий вплив на популяцію одного з найнебезпечніших шкідників різних сортів шипшини – розанної мухи, лімітуючи до 90 % пупаріїв даного

виду двокрилих у ґрунті. А. Dinter [45] у своїх працях вказує на віддання *P. melanarius* (Ill.) переваги павукам *Erigone atra* (Blackwall) (Linyphiidae) та личинкам золотоочки *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Chrysopidae) за наявності декількох запропонованих видів жертв. Дослідження С. R. Currie та S. C. Digweed [42] показали, що імаго *P. melanarius* (Ill.) становлять загрозу для популяції личинок іншого голарктичного виду *Pterostichus* – *P. adstrictus* Eschscholtz. За результатами лабораторного експерименту, С. R. Currie, J. R. Spence, J. Niemela [43] з'ясували, що у ході міжвидової конкуренції за трофічні ресурси імаго двох споріднених видів (*P. melanarius* (Ill.) і *P. adstrictus* Eschscholtz) поїдають здобич і личинок одне одного. Це призводить до зниження рівня виживання та репродуктивного потенціалу останніх, впливаючи на популяційну динаміку обох видів у природі.

Е. А. С. Hagley, N. J. Holliday та D. R. Barber [48] вивчали зв'язки ентомофагів із шкідниками плодових культур. Вони встановили, що, на відміну від деяких турунів-поліфагів, які знищують шкідників яблунь на ранніх стадіях розвитку, *P. melanarius* (Ill.) виявляє стійкі переваги у виборі більшої за розміром здобичі: личинок яблуневої мошки V віку, личинок інших турунів і дощових червів.

Таким чином, накопичено значний обсяг інформації щодо живлення *P. melanarius* (Ill.), однак методики проведення експериментів і засоби оцінювання отриманих даних відрізняються. Критерії трофічних переваг туруна за умов вільного вибору потенційної здобичі досліджені недостатньо та потребують подальшого аналізу. Мета цієї роботи – виявити закономірності вибору *P. melanarius* (Ill.) безхребетних як об'єктів живлення в умовах лісових біогеоценозів степового Придніпров'я.

Матеріал і методи досліджень

У попередньому дослідженні [1] визначали спектр живлення та оцінювали потенційні можливості імаго *P. melanarius* (Ill.) споживати в лабораторних умовах певні види безхребетних за умов відсутності вибору трофічних об'єктів. Жуків (150 особин *P. melanarius* (Ill.)) тримали у чашках Петрі, проведено понад 1 350 дослідів, тривалість яких складала одну добу. Кожній особині туруна пропонували окремого представника ґрунтово-підстилкового комплексу, а також хортоб'єнтів. Якщо по закінченні експерименту запропонований об'єкт залишався нез'їденим, його замінювали мотилем (100 % поїдання), після чого пропонували новий вид безхребетного.

Для виявлення критеріїв вибору *P. melanarius* (Ill.) здобичі у природі створена лабораторна модель ділянки місцеперебування досліджуваного виду з імовірними трофічними об'єктами. Турунів та інших безхребетних збирали за допомогою пасток Барбера, а також методом ручного розбирання ґрунту на території Самарського бору (Новомосковський р-н Дніпропетровської обл.), а також у лісових біогеоценозах околиць м. Дніпропетровськ протягом польових сезонів 2006–2008 років. Експеримент проведено в лабораторії Присамарського міжнародного біосферного стаціонару ім. О. Л. Бельгарда (Дніпропетровська обл.), у ході якого 40 екз. імаго *P. melanarius* (Ill.) утримували індивідуально в пластикових контейнерах (30 × 20 см). Як субстрат використовували зволожений пісок з елементами лісової підстилки. Кожній особині туруна протягом двох тижнів надавали вільний вибір хорто-, герпето- та геоб'єнтів, середня кількість яких щоденно складала 40 видів. Максимальна кількість безхребетних, запропонованих протягом експерименту кожній окремій особині *P. melanarius* (Ill.), сягала 75 видів із загальної кількості 190 видів. Чисельність запропонованих дослідженому виду трофічних об'єктів відповідала чисельності зібраних у природному угрупованні безхребетних на площі у декілька квадратних метрів.

Відсоток споживання *P. melanarius* (Ill.) безхребетних визначали за формулою: $K = \sum p_{ij} / n_j$, де p_i – відсоток поїдання i -ю особиною *P. melanarius* (Ill.) j -го виду трофічного об'єкта, n_j – кількість особин *P. melanarius* (Ill.), які отримували в експерименті трофічні об'єкти.

Результати та їх обговорення

P. melanarius (Ill.) виявляє себе активним зоофагом, здатним споживати представників різних таксономічних одиниць (рис. 1). Серед домінантних елементів ґрунтово-підстилкової мезофауни *P. melanarius* (Ill.) віддає перевагу безхребетним із рядів Coleoptera, Lepidoptera, Hymenoptera, Diptera, Hemiptera, Isopoda, Aranei, Lumbricomorpha (82 % з'їдених порівняно з 51 % від загальної кількості запропонованих тварин). Представники Julida, Geophilomorpha, Lithobiomorpha, Stylommatophora та інших груп входять до раціону туруна у меншій кількості (18 % з'їдених із 49 % запропонованих).

Споживання *P. melanarius* (Ill.) таксономічно близьких видів залежить від їх біологічних особливостей. Турун поїдає окремих Coleoptera (Carabidae, Staphylinidae, Scarabaeidae, Tenebrionidae, Chrysomelidae, Curculionidae), Hymenoptera (Formicidae), Diptera, Hemiptera, Julidae (Julida), Isopoda, Aranei, Stylommatophora, однак деякі представники вказаних груп вибираються ним у меншій мірі, або взагалі не входять до раціону дослідженого виду. *P. melanarius* (Ill.) віддає перевагу особинам молодших віків.

За результатами наших спостережень, *P. melanarius* (Ill.) вибирає в першу чергу нерухомих і малорухомих тварин із високою чисельністю. Підстилкові та ґрунтові личинки та пупарії двокрилих Calliphoridae (*Lucilia spp.*, *Calliphora spp.*), Sarcophagidae (*Liosarcophaga sp.*), личинки та ґрунтові лялечки лускокрилих (Noctuidae spp., Geometridae spp., Lepidoptera spp.), Silphidae (*Silpha carinata* Herbst, 1783, *S. obscura* Linnaeus, 1758, *Oiceoptoma thoracica* (Linnaeus, 1758), *Xylodrepa quadripunctata* (Linnaeus, 1761), *Aclypaea undata* (Muller, 1776), *Thanatophilus sp.*) та Dermestidae (*Dermestes lardarius* (Linnaeus, 1758), *Anthrenus museorum* (Linnaeus, 1761)) винищуються туруном майже 100 %. Також активно споживаються туруном лялечки Formicidae (*Lasius fuliginosus* (Latreille, 1798) – запропоновано 394 особини, відсоток споживання – 96,4 %). Імаго мурах поїдається *P. melanarius* (Ill.) у меншій кількості (*L. fuliginosus* (Latr.) – запропоновано 9 особин, 25 % споживання, *L. umbratus* (Nylander, 1846) – запропоновано 7 особин, 58,3 % споживання, *Myrmica spp.* – запропоновано 11 особин, 47,9 % споживання, *Messor sp.* – запропоновано 28 особин, 68,1 % споживання, *Camponotus spp.* – запропоновано 5 особин, 62,5 % споживання, *Formica spp.* – запропоновано 9 особин, 75,0 % споживання).

Використовуючи для збереження енергії стратегію вибору неактивних, нерухомих форм здобичі, *P. melanarius* (Ill.) виявляє тенденцію до споживання свіжих трупів деяких груп безхребетних (Carabidae, Formicidae, Sarcophagidae, Calliphoridae, Pentatomidae, Dysderidae, Araneidae, Lycosidae, Gnaphosidae, Julidae, Polydesmidae, Geophilidae, Lithobiidae, Cryptopidae, личинок Scarabaeidae, Cerambycidae тощо). Зоофаг споживає представників вищевказаних родин живими, однак перевага віддається особинам, які нещодавно загинули або дуже повільно рухаються. Деякі об'єкти раціону, наприклад, личинки Scarabaeidae, споживаються *P. melanarius* (Ill.) у однаковій кількості як живими, так і мертвими. Особини видів інших родин (Lithobiidae, Cryptopidae, Dysderidae, Lycosidae, Gnaphosidae) турун вибирає живими менш активно. Це досить численні елементи герпетобію, але зоофаг уникає рухливих тварин і розшукує слабких або загиблих особин. Майже не споживаються турунами мертві Lumbricidae та Limacidae, що, напевно, пов'язано із швидким розкладанням трупів ос-

таних унаслідок відсутності хітину у зовнішніх покриттях. Інші аспекти трофічної стратегії *P. melanarius* (Ill.) стосуються живлення личинками деяких Diptera. На відміну від сильнохітинізованих личинок *Stratiomyidae* spp. (запропоновано 37 особин, 1,8 % споживання), зоофаг віддає перевагу личинкам Sarcophagidae та Calliphoridae, які відрізняються м'якішими зовнішніми покриттями.

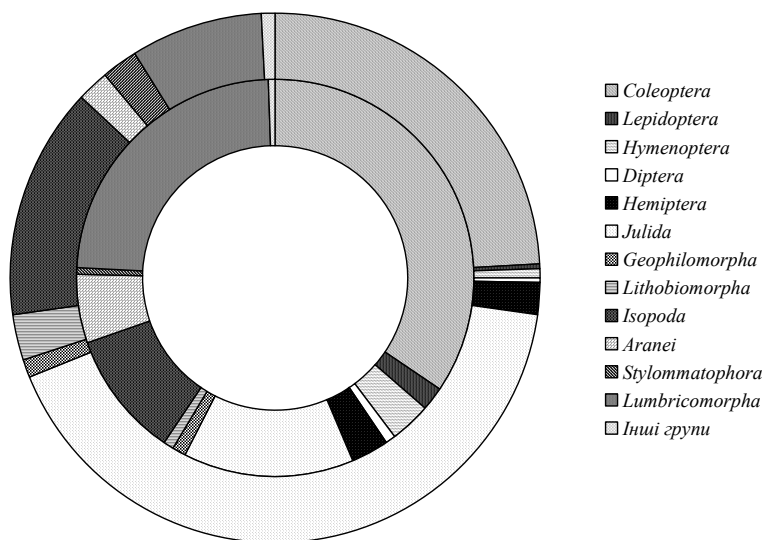


Рис. 1. Таксономічна структура запропонованих і спожитих *Pterostichus melanarius* (Ill.) безхребетних: зовнішнє коло – запропонована, внутрішнє – спожита біомаса безхребетних

Виявлені безхребетні, більшість яких досліджений вид повністю ігнорував протягом усього експерименту, вибираючи їх лише у випадку повної відсутності вибору здобичі: *Paederus riparius* (Linnaeus, 1758) (запропоновано 27 ос.), *Quedius fuliginosus* (Gravenhorst, 1802) (8 ос.) (Staphylinidae), личинки *Elateridae* sp. (7 ос.), *Oniticellus fulvus* (Goeze, 1777) (12 ос.), личинки *Cetonia aurata* Linnaeus, 1758 (20 ос.) (Scarabaeidae), личинки *Lampyridae* sp. (34 ос.), *Cryphaeus cornutus* (Fischer-Waldheim, 1823) (5 ос.), *Anatolica eremita* (Steven, 1829) (10 ос.), *Opatrum sabulosum* (Linnaeus, 1761) (83 ос.) (Tenebrionidae), *Chrysomela limbata* (Fabricius, 1775) (Chrysomelidae) (27 ос.), *Otiorhynchus raucus* (Fabricius, 1777) (Curculionidae) (7 ос.), *Xysticus* sp. (Thomisidae) (17 ос.). Можливо, це пов'язано з наявністю у гемолімфі деяких із вищевказаних видів «неприємних на смак» хімічних речовин.

Розмірно-вагова структура запропонованих *P. melanarius* (Ill.) безхребетних свідчить про можливість зоофага споживати здобич, маса якої коливається у широкому діапазоні (рис. 2). До головних критеріїв відбору *P. melanarius* (Ill.) трофічних об'єктів слід віднести розміри та ступінь твердості зовнішнього покриття останніх. *P. melanarius* (Ill.) віддає перевагу здебільшого невеликим безхребетним вагою 2–31,9 мг (11 % з'їдених із 3 % запропонованих). Середня жива вага *P. melanarius* (Ill.) дорівнює 214,5 мг.

Також активно *P. melanarius* (Ill.) вибирає тварин, що мають м'які покриття масою понад 512 мг (39 % з'їдених із 19 % запропонованих). Турун досить охоче споживає переважаючих його за вагою великих особин *Aporrectodea caliginosa* (Savigni, 1826) (Lumbricidae) (запропоновано 18 особин, 45,0 % споживання), личинок *Melolontha melolontha* Linnaeus, 1758 II, III віків (Scarabaeidae) (46 ос., 60,2 %; 67 ос., 26,2 % споживання відповідно) та личинок *Dorcadion* sp. (Cerambycidae) (3 ос., 75,0 %), у той час як на масивних безхребетних із твердими покриттями хижак майже не звертає уваги

(*Dorcus parallelipedus* (Linnaeus, 1758) (Lucanidae) (запропоновано 36 ос.), *Copris lunaris* (Linnaeus, 1758) (Scarabaeidae) (20 ос.), *Geotrupes stercorosus* (Scriba, 1791) (Geotrupidae) (109 ос., 4,5 % споживання)). Іноді спостерігались випадки відкушування *P. melanarius* (Ill.) кінцівок *D. parallelipedus* (L.) та виїдання свіжих трупів *G. stercorosus* (Scriba). Досліджений вид ігнорує великих слимаків *Arion sp.* (Arionidae) (19 ос.), але при цьому повністю винищує їхні яйця (25 яєць, 100,0 %). *P. melanarius* (Ill.) обирає переважно ювенільні екземпляри молюсків (*Helix lutescens* (Rossmassler, 1837) – запропоновано 7 ос., 25,0 % споживання, *Helicidae sp.* – 3 ос., 100,0 % споживання). Представниками Stylommatophora, більшими за власні розміри, зоофаг живиться лише за умов порушення цілісності черепашки: *Oxychilus draparnaudi* (Beck, 1837) – запропоновано 5 ос., *Aegopinella minor* (Stabile, 1864) – 31 ос., 2,9 % споживання (Zonitidae).

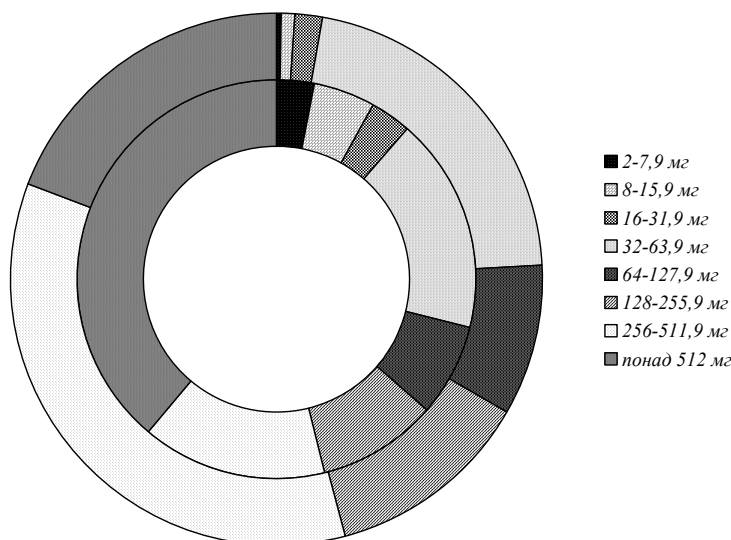


Рис. 2. Розмірно-вагова структура запропонованих та спожитих *Pterostichus melanarius* (Ill.) безхребетних: зовнішнє коло – запропонована, внутрішнє – спожита біомаса безхребетних

Аналіз трофічної спеціалізації потенційних жертв *P. melanarius* (Ill.) виявляє віддання туруном переваги фітофагам (31 % з'їдених із 11 % запропонованих), некрофагам (4 % з'їдених із 1 % запропонованих) та пантофагам (3 % з'їдених із 1 % запропонованих) (рис. 3). Це пояснюється належністю до даних груп личинок і лялечок лускокрилих, мурах, а також численних елементів некрокомплексу (мертвоїдів, шкіроїдів, двокрилих).

У раціоні *P. melanarius* (Ill.) важливе місце належить зоофагам (13 % з'їдених із 13 % запропонованих), серед яких *P. melanarius* (Ill.) досить охоче поїдає павукоподібних родин Dysderidae (*Harpactea rubicunda* (C. L. Koch, 1838) – запропоновано 65 ос., 32,4 % споживання), Linyphiidae spp. (21 ос., 55,0 %), Lycosidae (*Trochosa terricola* Thorell, 1856 – 62 ос., 39,7 %, *Pardosa lugubris* (Walckenaer, 1802) – 130 ос., 54,2 %, *Trochosa spp.* – 23 ос., 61,6 %, *Pardosa spp.* – 12 ос., 27,8 %, *Lycosidae spp.* – запропоновано 34 ос., 16,7 % споживання), Clubionidae sp. (запропоновано 6 ос., 50,0 % споживання), Pisauridae (*Pisaura mirabilis* (Clerck, 1757) – 105 ос., 16,7 % споживання), Gnaphosidae (*Zelotes spp.* – 16 ос., 38,9 % споживання), Salticidae (*Sitticus sp.* – 5 ос., 100,0 % споживання, *Salticidae spp.* – 13 ос., 77,3 % споживання), *Phalangiidae sp.* (4 ос., 25,0 % споживання) та твердокрилих родини Staphylinidae (*Stenus sp.* – 6 ос., 62,5 %

споживання, *Rugilus rufipes* German, 1836 – 10 ос., 44,4 %, *Oscypus globulifer* (Fourcroy, 1785) – 12 ос., 25,0 %, *Drusilla canaliculata* (Fabricius, 1787) – 40 ос., 18,3 %, *Aleochara curtula* Goeze, 1777 – 6 ос., 25,0 %, *Lathrobium spp.* – 25 ос., 29,0 %, *Xantholinus sp.* – 5 ос., 100,0 %, *Oxyrhopus sp.* – 13 ос., 42,9 % споживання). Найактивнішими видами па-вуків *P. melanarius* (III.) живиться у незначній кількості (*Xerolycosa sp.* – запропоновано 27 ос., 3,3 % споживання).

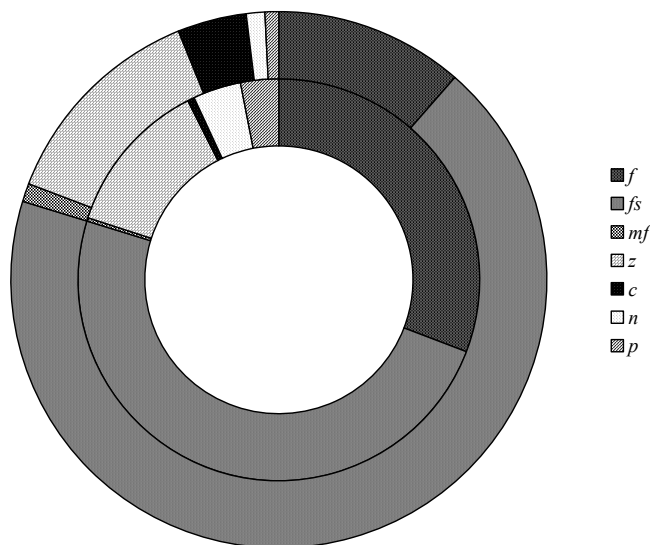


Рис. 3. Трофічна структура запропонованих та спожитих *Pterostichus melanarius* (III.) безхребетних: зовнішнє коло – запропонована, внутрішнє – спожита біомаса безхребетних; *f* – фітофаги, *fs* – фітосапрофаги, *mf* – міксофітофаги, *z* – зоофаги, *c* – копрофаги, *n* – некрофаги, *p* – пантофаги

Серед фітосапрофагів (48 % з'їдених із 69 % запропонованих) найбільшу частку у раціоні *P. melanarius* (III.) складають Lumbricomorpha, Isopoda та Diplopoda: *Lumbricidae spp.* (запропоновано 206 ос., 30,1 % споживання), *Porcellio scaber* (Latreille, 1804) (Porcellionidae) (ювенільні – запропоновано 68 ос., 17,4 % споживання; статевозрілі – 3206 ос., 14,9 % споживання), *Polydesmus complanatus* (Linnaeus, 1758) (14 ос., 36,1 %), *Schizothuranius dmitriewi* (Timotheew, 1897) (6 ос., 33,3 %) (Polydesmidae).

На відміну від відносно м'яких Polydesmida відсоток споживання *P. melanarius* (III.) багатоніжок ряду Julida (родина Julidae) зменшується з їх віком: *Rossiulus kessleri* (Lohmander, 1927) (ювенільні – запропоновано 1220 ос., 43,1 % споживання; статевозрілі – 1472 ос., 7,3 %), *Megaphyllum rossicum* (Timotheew, 1897) (ювенільні – 184 ос., 3,8 %; статевозрілі – 74 ос., 0 %), *M. sjaelandicum* (Meinent, 1868) (91 ос., 24,2 %), що, вірогідно, пов'язано з твердістю покривів дорослих особин, а також, можливо, пояснюється «неприємним смаком» останніх.

До факультативних фітосапрофагів у раціоні *P. melanarius* (III.) можна віднести вкритих жорсткою кутикулою, здатних у випадку небезпеки згортатися у кулю *Armadillidium vulgare* (Latreille, 1804) (Armadillidae), відсоток споживання яких збільшується зі зменшенням видового різноманіття безхребетних (запропоновано 270 ос., 11,5 % споживання). У невеликій кількості *P. melanarius* (III.) живиться дрібними та здатними до швидкого пересування *Protracheoniscus topcziewi* Borutzkii, 1975 (Trachelipodidae) – 12 ос., 8,3 %.

Серед копрофагів (1 % з'їдених із 4 % запропонованих) *P. melanarius* (Ill.) вибирає види з найменшою склеротизацією покривів (*Onthophagus coenobita* (Herbst, 1787) – запропоновано 32 ос., 22,2 % споживання, *O. sp.* – 4 ос., 100,0 %) (Scarabaeidae)).

Ценоморфічна характеристика запропонованих *P. melanarius* (Ill.) безхребетних виявляє перевагу здебільшого лісових форм у раціоні досліджуваного виду (рис. 4): із 34 % запропонованих сільвантів *P. melanarius* (Ill.) споживає 60 %, у той час як еврибіонтів – 35 із 58 % запропонованих. Також у невеликій кількості турун поїдає нечисленних у лісових біотопах степантів (3 % з'їдених із 7 % запропонованих).

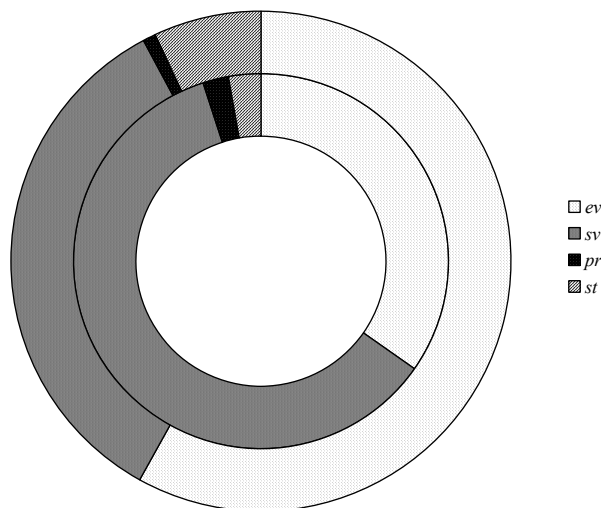


Рис. 4. Ценоморфічна структура запропонованих і спожитих *Pterostichus melanarius* (Ill.) безхребетних: зовнішнє коло – запропонована, внутрішнє – спожита біомаса безхребетних; ev – еврибіонти, sv – сільванти, pr – пратанти, st – степанти

Переваги *P. melanarius* (Ill.) у виборі безхребетних також залежать від умов середовища існування домінантних об'єктів живлення (рис. 5). Порівняно з герпетобіонтами (41 % з'їдених із 74 % запропонованих), більшу частину раціону *P. melanarius* (Ill.) складають геобіонти (51 % з'їдених із 21 % запропонованих), серед яких досліджений вид найактивніше споживає Geophilidae (*Geophilus proximus* C. L. Koch, 1847 – запропоновано 32 ос., 42,1 % споживання, *Arctogeophilus macrocephalus* Folkmanova, Dobroruka, 1960 – 289 ос., 11,2 %), личинок *Melolontha melolontha* L. та ендегейні форми Lumbricidae.

Турун уникає вкритих жорсткою оболонкою швидких представників Lithobiidae (*Monotarsobius curtipes* C.L. Koch, 1847 – 97 ос., 3,6 % споживання, *Lithobius forficatus* (Linnaeus, 1758) – 197 ос., 1,2 %) та Forficulidae (*Forficula auricularia* (Linnaeus, 1758) – 64 ос., 3,2 %), віддаючи перевагу видам із меншою активністю (*Monotarsobius sp.* – 30 ос., 44,2 %, *Lithobius sp.* – 17 ос., 11,1 %). Також *P. melanarius* (Ill.) ігнорує імаго більшості Carabidae, які через склеротизовані покриви та високу рухливість стають здобиччю зоофага лише у випадку своєї загибелі, або взагалі не споживаються ним за умов вільного вибору: *Poecilus versicolor* (Sturm, 1824) – запропоновано 79 ос., 2,4 % споживання, *Pterostichus oblongopunctatus* (Fabricius, 1787) – 27 ос., 0,0 %, *P. strenuus* (Panzer, 1796) – 53 ос., 10,4 %, *P. anthracinus* (Illiger, 1798) – 10 ос., 0,0 %, *Calathus fuscipes* (Goeze, 1777) – 372 ос., 0,6 %, *C. ambiguus* (Paykull, 1790) – 39 ос., 0,0 %, *Amara ovata* (Fabricius, 1792) – 20 ос., 0,0 %, *A. communis* (Panzer, 1797) – 15 ос., 0,0 %, *Anisodactylus nemorivagus* (Duftschmid, 1812) – 13 ос., 0,0 %, *A. binotatus* (Fabricius, 1787) – 13 ос., 0,0 %.

Ophonus punctatulus (Duftschmid, 1812) – 36 ос., 0,0 %, *Ophonus sp.* – 19 ос., 0,0 %, *Harpalus politus* (Dejean, 1825) – 14 ос., 0,0 %, *H. latus* (Linnaeus, 1758) – 5 ос., 0,0 %, *H. rufipes* (De Geer, 1774) – 25 ос., 0,0 %, *H. griseus* (Panzer, 1797) – 44 ос., 3,3 %, *H. tardus* (Panzer, 1797) – 5 ос., 0,0 %, *H. smaragdinus* (Duftschmid, 1812) – 35 ос., 6,0 %, *H. calathoides* Motschulsky, 1844 – 25 ос., 0,0 %, *Harpalus sp.* – 14 ос., 0,0 %, *Licinus cassideus* (Fabricius, 1792) – 9 ос., 0,0 %, *L. depressus* (Paykull, 1790) – 21 ос., 10,0 % споживання. За відсутності значного видового різноманіття запропонованих *P. melanarius* Ill. безхребетних, відсоток споживання імаго турунів дещо збільшується (*Calathus erratus* (Sahlberg, 1827) – запропоновано 19 ос., 16,7 % споживання, *C. halensis* (Schaller, 1783) – 5 ос., 16,7 %).

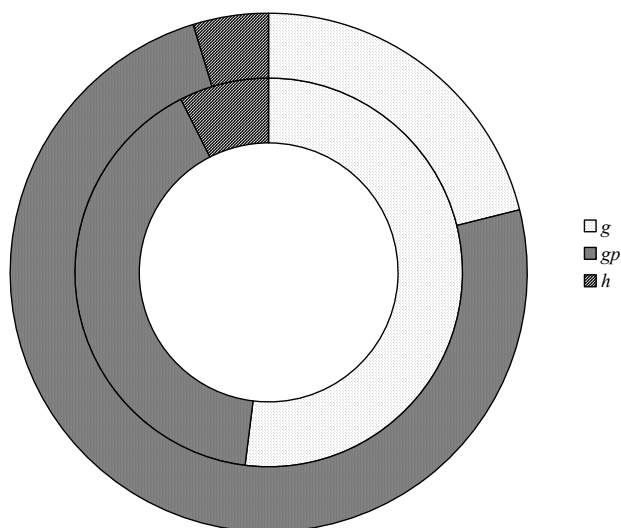


Рис. 5. Структура запропонованих і спожитих *Pterostichus melanarius* (Ill.) безхребетних за їх вертикальним розподілом в екосистемі: зовнішнє коло – запропонована, внутрішнє – спожита біомаса безхребетних; g – геобіоти, gp – герпетобіоти, h – хортобіоти

На невеликих Carabidae *P. melanarius* (Ill.) полює частіше порівняно з іншими видами: *Bembidion sp.* – запропоновано 23 ос., 20,0 % споживання, *Notiophilus laticollis* Chaudoir, 1850 – 5 ос., 100,0 %, *Leistus ferrugineus* (Linnaeus, 1758) – 3 ос., 66,7 %, *Calathus melanocephalus* Linnaeus, 1758 – 38 ос., 33,8 %, *Harpalus amplicollis* Menetries, 1848 – 15 ос., 50,5 %, *Microlestes minutulus* (Goeze, 1777) – 30 ос., 43,5 % споживання. У значній кількості *P. melanarius* Ill. винищує м'яких личинок і лялечок різних видів турунів (*Broscus cephalotes* (Linnaeus, 1758) (larvae) – запропонована 21 ос., 40,0 % споживання, *Carabidae spp.* (larvae) – 12 ос., 50,0 %, *Carabidae spp.* (pupa) – 5 ос., 100,0 % споживання).

Хортобіоти (8 % з'їдених із 5 % запропонованих) у раціоні *P. melanarius* (Ill.) представлені переважно нелітаючими формами, однак турун досить активно споживає напівтвердокрилих, що належать до родин Pentatomidae (*Palomena prasina* (Linnaeus, 1761) – запропоновано 12 ос., 31,3 % споживання, *Picromerus bidens* (Linnaeus, 1758) – 4 ос., 50,0 %, *Eurydema ornata* (Linnaeus, 1758) – 4 ос., 66,7 %, *E. oleracea* (Linnaeus, 1758) – 10 ос., 31,3 %, *Rhaphigaster nebulosa* (Poda, 1761) – 9 ос., 71,4 %), Coreidae (*Dicranocephalus albipes* (Fabricius, 1781) – 11 ос., 50,0 %), Nabidae (*Nabis ferus* (Linnaeus, 1758) – 41 ос., 27,1 %), Lygaeidae (*Trapezonotus arenarius* (Linnaeus, 1758) – 76 ос., 20,5 %, *Lygaeus equestris* (Linnaeus, 1758) – 21 ос., 27,2 %). Окремі представники

Hemiptera у раціоні дослідженого виду займають менш значне місце: *Aelia acuminata* (Linnaeus, 1758) – запропоновано 8 ос., 12,5 % споживання, *Carpocoris sp.* – 8 ос., 16,7 %, *Pentatomidae sp.* – 5 ос., 16,7 %, *Dolycoris baccarum* (Linnaeus, 1758) – 22 ос., 5,0 % (Pentatomidae), *Eurygaster integriceps* Puton, 1881 (Scutelleridae) – 21 ос., 16,7 % споживання.

Імаго деяких безхребетних, пов'язаних у своєму життєвому циклі з трав'яною або деревно-чагарниковою рослинністю, зоофаг споживає лише випадково, частіше у разі загибелі останніх: *Conistra erythrocephala* ([Denis & Schiffermuller], 1775 – запропоновано 10 ос., 12,5 % споживання, *C. vaccinii* (Linnaeus, 1761) – 3 ос., 33,3 % (Noctuidae); *Calliphoridae sp.* – 4 ос., 50,0 %; *Liosarcophaga sp.* (Sarcophagidae) – 3 ос., 50,0 %; *Chrysoperla carnea* (Stephens, 1836) (Chrysopidae) – 7 ос., 50,7 %; *Ichneumonidae spp.* – 4 ос., 66,7 %; *Adonia variegata* (Goeze, 1777) – 5 ос., 20,0 %, *Adalia bipunctata* (Linnaeus, 1758) – 8 ос., 45,8 %, *Coccinella septempunctata* Linnaeus, 1758 – 412 ос., 5,4 %, *Salvia quatuordecimguttata* (Linnaeus, 1758) – 13 ос., 0 % (Coccinellidae); *Chrysolina fastuosa* (Scopoli, 1763) (Chrysomelidae) – 221 ос., 3,2 %; *Phyllobius sp.* – 30 ос., 20,0 %, *Lixus sp.* – 5 ос., 0 %, *Dorytomus sp.* – 12 ос., 0 % (Curculionidae); *Araneus diadematus* (Clerck, 1757) – 13 ос., 33,3 %, *A. bituberculatus* Walckenaer, 1802 – 3 ос., 100,0 %, *Araneus sp.* – запропоновано 20 ос., 10,0 % споживання (Araneidae).

Висновки

На відсоток споживання *P. melanarius* (Ill.) потенційних об'єктів живлення за умов вільного вибору впливає декілька чинників, головними з яких виступають твердість покривів і розміри здобичі, а також її здатність до швидкого пересування. Серед безхребетних, які становлять основу спектра живлення *P. melanarius* (Ill.), домінують невеликі нерухливі та малорухливі об'єкти з відносно м'якими покривами тіла. Турун уникає значних за розміром тварин, які характеризуються міцними покривами. У невеликій кількості *P. melanarius* (Ill.) споживає особин видів із високою активністю, а також видів, для яких характерна «отруйність». Основу раціону дослідженого виду складають здебільшого фітофаги, зоофаги, некрофаги та фітосапрофаги, які належать до класів Oligocheta, Ectognatha, Arachnida, Malacostraca та Diplopoda. Біотопічний аналіз запропонованих туруну безхребетних вказує на вибір зоофагом лісових, переважно ґрунтових форм. Деякі представники хорто- і тамнобіонтів, а також комахи-антофіли у більшості випадків можуть стати здобиччю *P. melanarius* (Ill.) лише мертвими.

Подальші дослідження трофічних зв'язків *P. melanarius* (Ill.) із домінантними безхребетними підстилково-ґрунтового комплексу необхідні для з'ясування ролі турунів у механізмах перетворення енергії та органічної речовини у консорціях.

Бібліографічні посилання

1. Бригадиренко В. В. Особливості спектра живлення *Pterostichus melanarius* (Coleoptera: Carabidae) у лабораторних умовах / В. В. Бригадиренко, О. В. Корольов // Вісник Білоцерк. Держ. аграрн. ун-ту. – 2006. – Вип. 43. – С. 67–71.
2. Будилов В. В. Пространственно-временное распределение жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) в мозаике агроландшафта: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – М. : МПГУ, 1992. – С. 1–16.
3. Васильева Р. М. Эколого-фаунистическая характеристика приводных видов жуужелиц в Брянской области // Фауна и экология беспозвоночных животных. – М. : МГПИ, 1984. – С. 106–117.
4. Вредители сельскохозяйственных культур и лесных насаждений / Под ред. В. П. Васильева. – К. : Урожай, 1973. – Т. 1. – С. 379–380.

5. **Грюнталь С. Ю.** Комплексы жужелиц (Coleoptera, Carabidae) в лесах подзоны широколиственно-еловых лесов // Фауна и экология почвенных беспозвоночных Московской области. – М. : Наука, 1983. – С. 85–98.
6. **Гусева Н. А.** Жужелицы (Coleoptera, Carabidae) Центральночерноземного заповедника // Эколого-фаунистические исследования Центральной лесостепи Европейской части СССР. – М. : МГПИ, 1984. – С. 12–17.
7. **Дорофеев Ю. В.** Структура населения жужелиц (Coleoptera, Carabidae) урбанизированного ландшафта северной лесостепи центральной России: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – М. : МПГУ, 1995. – С. 1–18.
8. **Душенков В. М.** Основные закономерности сложения комплексов жужелиц (Coleoptera, Carabidae) в агроценозах // Докл. АН СССР. – 1982. – Т. 265, № 1. – С. 250–252.
9. **Душенков В. М.** О фауне жужелиц (Coleoptera, Carabidae) г. Москвы // Фауна и экология почвенных беспозвоночных Московской области. – М. : Наука, 1983. – С. 111–112.
10. **Душенков В. М.** Личинки жужелиц (Coleoptera, Carabidae) на полях сельскохозяйственных культур в Подмоскowie / В. М. Душенков, Т. А. Черняховская // Зоологический журнал. – 1989. – Т. 68, № 11. – С. 48–55.
11. **Егоров А. Г.** Особенности биотопического распределения жужелиц (Coleoptera, Carabidae) в некоторых районах Прикарпатья и Закарпатья // Фауна и экология беспозвоночных животных. – М. : МГПИ, 1976. – С. 80–90.
12. **Емец В. М.** Изменение плотности и структуры популяции *Pterostichus melanarius* (Coleoptera, Carabidae) под влиянием рекреации // Зоол. журн. – 1983. – Т. 62, № 10. – С. 1505–1509.
13. Жужелицы (Coleoptera, Carabidae) Стрелецкой степи под Курском и их сезонная динамика активности / К. В. Арнольди, И. Х. Шарова, Г. Н. Клюканова, Н. Н. Бутрина // Фауна и экология животных. – М. : МГПИ, 1972. – С. 215–230.
14. **Иняева З. И.** Видовой состав и распределение жужелиц полей // Фауна и экология почвенных беспозвоночных Московской области. – М. : Наука, 1983. – С. 98–107.
15. **Карпова В. Е.** Видовой состав и особенности распределения жужелиц в агроценозах юга Молдавии // Фауна и экология беспозвоночных животных. – М. : МГПИ, 1984. – С. 82–87.
16. **Коваль А. Г.** К изучению жужелиц (Coleoptera, Carabidae) энтомофагов колорадского жука картофельных полей Закарпатья // Энтومол. обзор. – 1999. – Т. 78, № 3. – С. 527–536.
17. **Колесников Л. О.** Зональные особенности фауны жужелиц (Coleoptera, Carabidae) пшеничных ценозов лесостепной и степной зон / Л. О. Колесников, А. М. Сумароков // Энтومол. обзор. – 1993. – Т. 62, № 2. – С. 326–332.
18. **Колесников С. А.** Роль хищных жужелиц в экологизированной системе защитных мероприятий на шиповнике // Реалии XXI века в свете учения Вернадского: Тез. докл. V Межрегиональной научно-практ. конф. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2007. – С. 138–141.
19. **Корольов О. В.** Домінантні види роду *Pterostichus* (Coleoptera, Carabidae) штучних лісових біогеоценозів м. Дніпропетровськ // Зоологічна наука у сучасному суспільстві. Матер. Всеукр. наук. конф. – Київ–Канів : КНУ ім. Т. Шевченка, 2009. – С. 227–229.
20. **Королев А. В.** Роль *Pterostichus melanarius* (Coleoptera: Carabidae) в регуляции численности некоторых почвенных личинок Diptera / А. В. Королев, М. В. Шульман // Экология, эволюция и систематика животных. Матер. Всеросс. научно-практ. конф. – Рязань : РГУ им. С. А. Есенина, 2009. – С. 92–93.
21. **Королев А. В.** Трофические связи *Pterostichus melanarius* (Coleoptera: Carabidae) с некрофильными жесткокрылыми лесных биогеоценозов степного Приднeпровья / А. В. Королев, М. В. Шульман // Фундаментальні та прикладні дослідження в біології. Матер. I Міжнар. конф. – Донецьк : Вебер, 2009. – Т. 1. – С. 194–195.
22. **Кривопалова С. А.** Комплексы жужелиц агроценозов северо-востока Самарской области и их трансформация // Вестник Самарского гос. ун-та. – 1999. – № 2 (12). – С. 127–132.
23. **Маталин А. В.** Об использовании световых ловушек в экологических исследованиях жужелиц (Coleoptera, Carabidae) // Зоол. журн. – 1996. – Т. 75, № 5. – С. 744–756.

24. **Мордкович В. Г.** Население герпетобионтных жуков (Coleoptera, Carabidae, Silphidae, Tenebrionidae) в микроландшафтах севера Барабинской лесостепи и его изменения под влиянием хозяйственной деятельности человека // Зоол. журн. – 1964. – Т. 43, № 5. – С. 680–694.
25. **Попова А. А.** Структура и динамика комплексов жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) на полях овощного севооборота в лесостепной зоне // Докл. АН СССР. – 1985. – Т. 281, № 6. – С. 1509–1511.
26. **Распределение жуужелиц в сосняках Подмосквья** / И. Х. Шарова, В. Г. Матвеева, Р. Г. Куперман, Н. Л. Харюков // Фауна и экология почвенных беспозвоночных Московской области. – М. : Наука, 1983. – С. 107–110.
27. **Сергеева Т. К.** Связи жуужелиц рода *Pterostichus* с кормовыми ресурсами / Т. К. Сергеева, С. Ю. Грюнталь // Зоол. журн. – 1990. – Т. 69, № 3. – С. 32–41.
28. **Соболева-Докучаева И. И.** Некоторые особенности пищевой специализации жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) при лабораторном разведении // Фауна и экология почвенных беспозвоночных Московской области. – М. : Наука, 1983. – С. 137–147.
29. **Сорокин Н. С.** Жуужелицы (Coleoptera, Carabidae) – естественные враги колорадского жука *Leptinotarsa decemlineata* Say. // Энтомол. обозр. – 1981. – Т. 60, № 2. – С. 282–289.
30. **Сумароков А. М.** Восстановление биотического потенциала биогеоценозов при уменьшении пестицидных нагрузок. – Донецк : Вебер, 2009. – 194 с.
31. **Тимралеев З. А.** Сравнительный анализ фауны и населения жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) лугов и агроценозов Мордовии / З. А. Тимралеев, В. А. Арюков, О. Д. Бардин // Зоол. журн. – 2002. – Т. 81, № 12. – С. 1517–1522.
32. **Феоктистов В. Ф.** Сезонная динамика активности жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) в различных типах леса у южной границы тайги / В. Ф. Феоктистов, В. М. Душенков // Зоол. журн. – 1982. – Т. 61, № 2. – С. 227–232.
33. **Чегодаева Н. Д.** Влияние полезащитных лесных полос на водно-физические свойства почвы и состав населения жуужелиц прилегающих полей / Н. Д. Чегодаева, И. Ф. Каргин, В. И. Астрадамов. – Саранск : Мордовское книжное изд-во, 2005. – 125 с.
34. **Шарова И. Х.** Особенности биотопического распределения жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) в зоне смешанных лесов Подмосквья // Фауна и экология животных. – М. : МГПИ, 1971. – Вып. 465. – С. 61–68.
35. **Шарова И. Х.** Жизненные формы жуужелиц (Coleoptera, Carabidae). – М. : Наука, 1981. – 360 с.
36. **Шарова И. Х.** Зональные закономерности эколого-фаунистического распределения жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) в полевых агроценозах // Фауна и экология беспозвоночных животных. – М. : МГПИ, 1984. – С. 62–69.
37. **Шарова И. Х.** Эколого-фаунистическая характеристика полевых жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) в зоне смешанных лесов Московской области / И. Х. Шарова, И. И. Соболева-Докучаева // Фауна и экология беспозвоночных животных. – М. : МГПИ, 1984. – С. 117–124.
38. **Шарова И. Х.** Экологическая дифференциация массовых видов жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) в агроценозах / И. Х. Шарова, А. А. Попова, М. Ю. Романкина // Зоол. журн. – 1998. – Т. 77, № 12. – С. 1377–1382.
39. **Шишова М. И.** Динамика структуры населения и популяций видов жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) в лесонасаждениях северной лесостепи России: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – М. : МПГУ, 1994. – С. 1–18.
40. **Якушкина М. Н.** Влияние автомобильных дорог на эколого-фаунистическую характеристику жуков-жуужелиц // Актуальные проблемы биологии, экологии, методики преподавания и педагогики. – Саранск : Изд-во Средневолжского матем. о-ва, 2009. – С. 39–41.
41. **Якушкина М. Н.** Фауна жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) лесопарковой зоны г. Саранска // Актуальные проблемы биологии, экологии, методики преподавания и педагогики. Сб. статей по матер. Всеросс. научно-практ. конф. «45-е Евсевьевские чтения». – Саранск : Изд-во Средневолжского матем. о-ва, 2009. – С. 32–35.
42. **Currie C. R.** Effect of substrate depth on predation of larval *Pterostichus adstritus* Eschscholtz by adults of *P. melanarius* (Illiger) (Coleoptera: Carabidae) / C. R. Currie, S. C. Digweed // The Coleopterists Bulletin. – 1996. – Vol. 50, N 3. – P. 291–296.

43. **Currie C. R.** Competition, cannibalism and intraguild predation among ground beetles (Coleoptera: Carabidae): a laboratory study / C. R. Currie, J. R. Spence, J. Niemela // *The Coleopterists Bulletin*. – 1996. – Vol. 50, N 2. – P. 135–148.
44. **Desender K.** Population biology and reproduction in *Pterostichus melanarius* Ill. (Coleoptera, Carabidae) from a heavily grazed pasture ecosystems / K. Desender, van den Broeck, J.-P. Maelfait // *Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent*. – 1985. – Vol. 50, N 2b. – P. 567–575.
45. **Dinter A.** Intraguild predation between erigonid spiders, lacewing larvae and carabids // *Journal of Applied Entomology*. – 1998. – Vol. 122, N 4. – P. 163–167.
46. **Fournier E.** Foraging activity of the carabid beetle *Pterostichus melanarius* Ill. in field margin habitats / E. Fournier, M. Loreau // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. – 2002. – Vol. 89, N 3. – P. 253–259.
47. **Grandchamp A.-C.** The effects of trampling on assemblages of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in urban forests in Helsinki, Finland / A.-C. Grandchamp, J. Niemela, J. Kotze // *Urban Ecosystems*. – 2000. – Vol. 4, N 4. – P. 321–332.
48. **Hagley E. A. C.** Laboratory studies of the food preferences of some orchard Carabids (Coleoptera, Carabidae) / E. A. C. Hagley, N. J. Holliday, D. R. Barber // *Canad. Entomol.* – 1982. – Vol. 114, N 5. – P. 431–437.
49. **Irmeler U.** The spatial and temporal pattern of carabid beetles on arable fields in northern Germany (Schleswig-Holstein) and their value as ecological indicators // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. – 2003. – Vol. 98, N 1–3. – P. 141–151.
50. **Johnson N. E.** Phytophagous ground beetles / N. E. Johnson, R. S. Cameron // *Ann. Entomol. Soc. Am.* – 1969. – Vol. 62. – P. 909–914.
51. **Johansen N. S.** Mortality of eggs, larvae and pupae and larval dispersal of the cabbage moth, *Mamestra brassicae*, in white cabbage in south-eastern Norway // *Entomologia Experimentalis et Applicata*. – 1997. – Vol. 83, N 3. – P. 347–360.
52. **Kromp B.** Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. – 1999. – Vol. 74, N 1–3. – P. 187–228.
53. **Lindqvist L.** Metal pollution and fat accumulation in the carabid beetle *Pterostichus melanarius* (Coleoptera, Carabidae) / L. Lindqvist, M. Block // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. – 2001. – Vol. 66, N 2. – P. 184–188.
54. **Oberholzer F.** Predation by the carabid beetles *Pterostichus melanarius* and *Poecilus cupreus* on slugs and slug eggs / F. Oberholzer, T. Frank // *Biocontrol Science and Technology*. – 2003. – Vol. 13, N 1. – P. 99–110.
55. **Raworth D. A.** Effects of dairy slurry application on carabid beetles in tall fescue, British Columbia, Canada / D. A. Raworth, M. C. Robertson, S. Bittman // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. – 2004. – Vol. 103, N 3. – P. 527–534.
56. **Scherney F.** Beitrage zur biologie und okonomischen bedeutung rauberisch lebender kaferarten // *Z. Angew. Entomol.* – 1961. – Vol. 48. – P. 163–175.
57. **Thomas C. F. G.** Isolating the components of activity-density for the carabid beetle *Pterostichus melanarius* in farmland / C. F. G. Thomas, L. Parkinson, E. J. P. Marshall // *Oecologia*. – 1998. – Vol. 116, N 1–2. – P. 103–112.

Надійшла до редколегії 19.06.2010

УДК 581.143:582.28

О. В. Кузнецова

Институт ботаники им. Н. Г. Холодного НАН Украины

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ РОСТРЕГУЛЯТОРОВ РАСТЕНИЙ В ПРОМЫШЛЕННОЙ МИКОЛОГИИ И СОЛОДОВАЩИИ

Приведены данные о расширении областей использования рострегуляторов растений. Показано позитивное влияние стимуляторов роста на развитие мицелия *Pleurotus ostreatus* на агаризованных питательных средах при поверхностном культивировании. Получены результаты стимулирующего воздействия рострегуляторов на биосинтетическую активность гриба при глубинном культивировании. Рассмотрена возможность использования фумара и гетероауксина при солодоращении. При этом отмечено сокращение сроков солодоращения и повышение амилолитической активности солода.

О. В. Кузнецова

Институт ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України

ЗАСТОСУВАННЯ ПРИРОДНИХ І СИНТЕТИЧНИХ РІСТРЕГУЛЯТОРІВ РОСЛИН У ПРОМИСЛОВІЙ МІКОЛОГІЇ ТА СОЛОДОЗРОЩУВАННІ

Наведено дані про розширення галузей застосування рістрегуляторів рослин. Показано позитивний вплив стимуляторів росту на розвиток міцелію *Pleurotus ostreatus* на агаризованих живильних середовищах при поверхневому культивуванні. Отримано результати стимулювальної дії рістрегуляторів на біосинтетичну активність гриба при глибинному культивуванні. Розглянуто можливість застосування фумару та гетероауксину при солодозрощуванні. При цьому відмічено скорочення термінів солодозрощування та підвищення амілолітичної активності солоду.

O. V. Kuznetcova

N. G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine

USING NATURAL AND SYNTHETIC GROWTH REGULATORS OF PLANTS IN INDUSTRIAL MYCOLOGY AND MALTING

Data on the expansion of the use the plants growth regulators in different areas are presented. The positive impact of the growth stimulators on the development of the *Pleurotus ostreatus* mycelium's on agar nutrient media during surface cultivation is shown. The results for growth regulators stimulating effect on the fungus biosynthetic activity in submerged cultures are obtained. The possibility of using fumar and heteroauxin for malting is considered. The decline of malting time and increase of amylolytic activity of the malt are recorded.

Введение

Проблема производства высококачественных продовольственных товаров в последнее время приобретает все большие масштабы. Использование различных пище-

вых добавок, генетически модифицированных растений и животных, изготовление продуктов из синтетических или суррогатных заменителей, ускоренные технологии производства продуктов питания уже никого не удивляют. Эта проблема неразрывно связана с так называемой «белковой» проблемой, то есть недостатком белкового компонента в питании человека. Белковое голодание присуще около 3 млрд. населения Земного шара, а около 1 млрд. людей вообще недоедают. Поэтому первоочередной задачей является обеспечение населения продуктами питания, при этом качеству питания отводится уже второстепенная роль.

Проблема полноценного белкового питания человека имеет несколько путей решения, среди которых приоритетная – использование новых источников белка: сои, зеленых листьев деревьев, микроорганизмов, одноклеточных и многоклеточных водорослей, шротов технических культур, высших грибов, которые культивируются в искусственных условиях.

Один из путей решения данной проблемы – повышение продуктивности существующих культурных растений, грибов, сельскохозяйственных животных. При этом повышается роль получения новых и использования известных природных и синтетических стимуляторов роста.

В современном растениеводстве фиторегуляторы используются с целью повышения урожайности и стойкости агроценозов к неблагоприятным факторам окружающей среды, позволяют существенно облегчить ряд технологических операций производства продуктов питания.

Природные фитогормоны и синтетические регуляторы роста и развития растений (фиторегуляторы) являются мощным химическим средством управления онтогенезом и продуктивным процессом растений и посевов [10]. Фитогормоны образуются как в самих растениях, так и у грибов и бактерий в небольших количествах. К ним относятся ауксины, гиббереллины, цитокинины, брассиностероиды, стимулирующие рост и развитие растений (например, биосинтез нуклеиновых кислот, белков и т. п., рост и деление клеток); абсцизовая кислота, эндогенный этилен, жасмоновая кислота – ингибиторы этих процессов, способствующие созреванию, увяданию и переходу растений в состояние покоя. Фитогормоны рассматриваются как специфические посредники между различными организмами, биологическая роль которых не ограничивает процессов, идущих в растениях [4; 15; 16].

В настоящее время вопросы взаимодействия и роли фитогормонов в системе «растение – гриб» особенно привлекают внимание ученых. Изучается действие на растения эндогенных грибных фитогормонов [18], влияние экзогенных стимуляторов роста на грибной мицелий [13], а также продукция фитогормонов грибами [17].

В последние годы появилась целая группа современных синтетических стимуляторов роста растений, полученных на основе природных веществ. Одним из них является фумар – синтетический аналог производной природной аминифумаровой кислоты, – экологически безопасный, универсальный, высокоэффективный стимулятор роста растений. Сейчас он широко используется для стимуляции роста овощных, плодовых и декоративных культур. В окружающей среде и растениях фумар быстро разлагается с образованием нетоксичных продуктов, идентичных продуктам превращения природных аминокислот в организме [9].

Проведенные нами исследования показали, что данный регулятор роста может использоваться не только для стимуляции роста растений, но также и для ускорения развития грибов, в частности, высших базидиомицетов. Вешенка обыкновенная (*Pleurotus ostreatus*) – один из самых популярных и широко распространенных культи-

вируемых грибов, имеет несомненные преимущества перед другими выращиваемыми грибами: низкая себестоимость производства, нетребовательность к питательным субстратам, высокая стойкость к заражению посторонней микрофлорой. При этом гриб обладает не только приятными вкусовыми и ароматическими характеристиками, но и рядом профилактических свойств, проявляя способность снижать уровень холестерина, обладает антиоксидантной и иммуностимулирующей активностью [12; 14].

Цель настоящего исследования – оценить возможности использования природных и синтетических рострегуляторов для ускорения роста мицелия высшего базидиального гриба *P. ostreatus* в поверхностной и глубинной культуре, интенсификации процессов солодоращения.

Материал и методы исследований

Изучение влияния стимуляторов роста на развитие вегетативного мицелия *P. ostreatus* проводили на агаризованных питательных средах на чашках Петри. В качестве исходного посевного материала взята маточная культура *P. ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm. (IBK-551), полученная из коллекции культур шляпочных грибов Института ботаники им. Н. Г. Холодного НАН Украины [11].

Рострегуляторы добавляли в питательные среды в виде растворов различной концентрации. Фумар использовали в форме 1 % раствора в диметилсульфоксиде, производитель – НПП «Агродар», г. Днепропетровск; гетероауксин – в форме препарата «Гетероауксин» (в виде прессованных таблеток), с содержанием калиевой соли индолил-3-уксусной кислоты 920 г/кг, производитель – ЗАТ ТПК «Техноэкспорт», Россия; гибберелловую кислоту – в форме препарата «Гиббереллин» (в виде светлого порошка) с массовой долей основного вещества 78 %, производитель – ПО «Синтез», Россия. Гибберелловая кислота – природный фитогормон, стимулирует деление клеток, задерживает старение. Гетероауксин – синтетический аналог природных фитогормонов ауксинового ряда, активизирует деление и способствует растяжению клеток [8].

В процессе культивирования использовали следующие питательные среды: кукурузный отвар, кукурузный экстракт (массовая доля сухих веществ 48 %), кукурузную зеленую патоку (массовая доля сухих веществ 56 %), неохмеленное пивное сусло 6 °Бал. Питательные среды готовили в соответствии с методикой [1], уплотняли путем добавления агар-агара в количестве 2 %. Инкубацию проводили в термостате ТС-80 при температуре +26...+28 °С. Продолжительность культивирования – до полного зарастания чашек Петри мицелием, в среднем – 7–9 суток.

Исследование изменения биосинтетической активности *P. ostreatus* под действием стимуляторов роста проводили на жидких питательных средах методом глубинного культивирования. Ферментацию осуществляли периодическим способом в колбах емкостью 250 мл (объем среды составлял 75 мл) на микробиологической термостатированной качалке в режиме 200 об./мин. при +26...+28 °С. Продолжительность культивирования – 7 суток. Белки в мицелии и плодовых телах определяли методом Лоури, повышение активности пектолитических ферментов – методом мацерации растительных тканей [1].

При проведении эксперимента по влиянию рострегуляторов на процесс солодоращения использовали сорт ячменя *Hordium distichum (nutania R. Reg.)*. Время обработки 1 % раствором перманганата калия – 40 мин., температура замачивания +12 °С. Время и режим замачивания зерна: в воде – 3 часа, воздушная пауза – 6 часов, в воде – 3 часа. Концентрация фумара в замочной воде составила 0,001 %. Зерно проращивали при температуре +14 °С [5].

Результаты и их обсуждение

Влияние фумара на рост мицелия *P. ostreatus* зависит от способа внесения стимулятора роста в питательную среду [7]. Предварительная обработка мицелиальных блоков в растворе фумара концентрации 0,01 % оказывает положительное действие на процесс развития мицелия, особенно в первоначальный период: сокращается лаг-фаза, образуются плотные, белые, пушистые колонии. Наибольшая скорость линейного роста мицелия наблюдались на питательных средах на кукурузном агаре и на агаризованном пивном сусле. Увеличение количества примордиев (зачатков плодовых тел) в вариантах опыта с использованием фумара, гетероауксина и гиббереллина говорит о влиянии данных веществ на процессы морфогенеза гриба.

При культивировании *P. ostreatus* в глубинных условиях отмечено повышение биосинтетической активности мицелия под влиянием стимулятора роста фумара разной концентрации в питательной среде (табл.).

Таблица

Содержание белка в мицелии и плодовых телах *Pleurotus ostreatus* при использовании фумара (по Лоури, мг/г сухого вещества)

Часть гриба	Питательная среда	Содержание общего белка
Мицелий	Кукурузный отвар, контроль	8,879 ± 0,001
	Кукурузный отвар + фумар 0,00001 %	10,666 ± 0,003*
	Кукурузный отвар + фумар 0,0001 %	11,298 ± 0,001*
	Кукурузный отвар + фумар 0,001 %	9,093 ± 0,002*
Плодовые тела	Кукурузный отвар, контроль	6,271 ± 0,001
	Кукурузный отвар + фумар 0,0001 %	8,456 ± 0,001*

Примечание: * – достоверность отличий $p < 0,05$.

При добавлении фумара в концентрации 0,0001 % содержание белков в грибном мицелии увеличивается на 27,2 %, а в плодовых телах – на 34,8 %. Увеличение содержания белка в плодовых телах, возможно, свидетельствует о пролонгированности действия биостимулятора на ферментную систему грибной клетки.

Повышение активности пектолитических ферментов при глубинном культивировании *P. ostreatus* обнаружено при внесении гетероауксина в концентрации 0,001 % в питательную среду – кукурузный отвар [6]. При этом мацерация растительных тканей составила на седьмые сутки наблюдения от 10 до 50 % (в контроле – 3–5 %). Повышение активности пектолитических ферментов способствует более эффективному расщеплению грибом пектиновых веществ питательной среды и лучшему усвоению дереворазрушающими макромицетами субстрата. Пектолитические ферменты также применяются в пищевой промышленности для осветления соков, а в методах клеточной инженерии – для разрушения клеточной стенки растительной клетки и получения протопластов. Возможность использования ферментов культуральной жидкости при глубинном культивировании высших базидиомицетов в методах микроразмножения культурных растений расширяет области использования макромицетов в современных методах исследования.

Еще одной областью применения рострегуляторов является солодоращение. Получение солода является традиционной и очень важной стадией пивоварения. Качество солода значительно влияет на вкусовые и биохимические особенности этого напитка. На пивоваренных заводах, в основном, используют ячменный солод, на спиртовых – ячменный, ржаной, овсяный, просяной. Значительное место в интенсификации солодоращения занимают способы, основанные на использовании активаторов роста зерна

и ингибиторов процессов дыхания при проращивании. Наибольшее распространение в качестве активатора роста при солодоращении получила гибберелловая кислота. Спиртовым раствором гиббереллина, смешанным с водой, зерно опрыскивают на вторые сутки от начала ращения или добавляют в замочную воду 150–200 мг гиббереллина на 1 т ячменя перед последними 6–8 часами замачивания [5].

Изучение возможности применения фумара в процессах солодоращения показало, что присутствие в замочной воде данного стимулятора роста активировало ферменты зерна. При этом амилолитическая активность солода составила 558 ед. Виндиша–Кольбаха (контроль – 254 ед. активности) [2], а процесс солодоращения сократился на 1,0–1,5 суток. Сокращение сроков солодоращения с использованием стимулятора роста при обработке семян способствовало получению солода с хорошими органолептическими свойствами и высокой ферментативной активностью протеаз и амилаз [3].

Исследование влияния на процесс проращивания семян пшеницы гетероауксина и фумара также показало, что энергия прорастания (количество проросших семян) при использовании фумара в концентрации 0,001 % составила 100 %, при использовании гетероауксина – 90% [2].

Перспективными для использования в сельском хозяйстве являются синтетические регуляторы роста растений из группы 3-аминомалеинимидов. Основным преимуществом данных веществ по сравнению с другими является стойкость к гидролизу, что значительно повышает технологичность их использования. Изучение данных синтетических регуляторов роста позволило отнести их к фиторегуляторам с высокой биологической активностью. Положительные результаты получены на опытах по проращиванию зерен кукурузы [3].

Выводы

Фиторегуляторы можно использовать не только в сельском хозяйстве для стимуляции роста агрокультур, но также и в других областях хозяйствования – в грибоводстве, солодоращении, клеточной инженерии, что несомненно повысит отдачу продукции и ее качество. Особенно эффективно использование стимуляторов роста нового поколения, таких как фумар – рострегулятора с широким спектром действия, экологически безопасного и доступного. Фумар способствует ускорению роста мицелия *P. ostreatus* на агаризованных средах, повышает активность грибных ферментов при глубинном культивировании, позитивно влияет на процесс солодоращения, улучшая органолептические свойства ячменного солода и активируя его ферменты.

Библиографические ссылки

1. **Билай В. И.** Методы экспериментальной микологии. Справочник / В. И. Билай, И. А. Дудка, Є. З. Коваль и др. / Под ред. В. И. Билай. – К. : Наукова думка, 1982. – 552 с.
2. **Вареня І. В.** До проблеми інтенсифікації процесу солодоростіння / І. В. Вареня, О. В. Кузнецова // Trans-Mech-Art-Chem. Зб. тез II Міжнар. наук. студ. конф. – Д. : УДХТУ, 2004. – С. 85.
3. **Голуб Є. В.** Вплив на процес солодозрощування стимуляторів росту / Є. В. Голуб, О. В. Кузнецова, С. М. Лисицька // Хімія і сучасні технології. Тези доп. III Міжнар. наук.-тех. конф. студ., асп. та мол. вчених. – Д. : УДХТУ, 2007. – С. 254.
4. **Гормональний комплекс рослин і грибів** / К. М. Ситник, Л. І. Мусатенко, В. А. Васюк та ін. – К. : Академперіодика, 2003. – 186 с.
5. **Ермолаева Г. А.** Технология и оборудование производства пива и безалкогольных напитков / Г. А. Ермолаева, Р. А. Колчева. – М. : ИЦ Академия, 2000. – 416 с.

6. **Житомирська В. В.** Мацерація рослинних тканин за допомогою грибних пектолітичних ферментів / В. В. Житомирська, О. В. Кузнецова, М. Л. Косарева // Хімія і сучасні технології. Тези доп. II Міжнар. наук.-техн. конф. студ. і асп. та молодих вчених. – Д. : УДХТУ, 2005. – С. 287.
7. **Кузнецова О. В.** Влияние биостимуляторов роста и питательных сред на ростовые качества мицелия *Pleurotus ostreatus* / О. В. Кузнецова, Н. В. Заколесник, О. Н. Лебедева // Вопр. химии и хим. технологии. – 2004. – № 4. – С. 89–93.
8. **Медведев С. С.** Физиология растений. – СПб. : Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2004. – 336 с.
9. **Патент (11) 19786, 19/UA, (51) 5 A 01 № 37/06, A 01 C 1/00.** Засіб обробки бульб картоплі перед посадкою / О. В. Просяник, О. С. Москаленко, Т. В. Хохлова, М. Ю. Кольцов, В. М. Міцко. – № 1124555. Заяв. 07.02.1989; Опубл. 25.12.1997 // Бюл. № 6.
10. **Сельскохозяйственная биотехнология** / В. С. Шевелуха, Е. А. Калашникова, Е. С. Воронин и др. / Под ред. В. С. Шевелухи. – М. : Высш. шк., 2003. – 469 с.
11. **Buchalo A. S.** Catalogue of the culture collection of mushrooms / A. S. Buchalo, N. Y. Mitropolskaya et al. – K., 2001. – 32 p.
12. **Glucans** from fruit bodies of cultivated mushrooms *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii*: Structure and potential prebiotic activity / A. Synytsya, K. Mickova, I. Jablonsky et al. // Carbohydrate Polymers. – 2009. – Vol. 76, N 4. – P. 548–556.
13. **Guo X.** Effects of phytohormones on mycelia growth and exopolysaccharide biosynthesis of medicinal mushroom *Phellinus linteus* / X. Guo, X. Zou, M. Sun // Bioprocess Biosyst. Eng. – 2009. – Vol. 32, N 5. – P. 701–709.
14. **Hobbs C.** Medicinal mushrooms. An exploration of tradition, healing and culture / C. Hobbs, L. Ac. – Santa Cruz : Botanica Press, 1995. – 252 p.
15. **Microbial** producers of plant stimulators and their practical use: A review / E. A. Tsavkelova, S. Y. Klimova, T. A. Cherdynseva, A. I. Netrusov // Appl. Biochemistry and Microbiology. – 2006. – Vol. 42, N 2. – P. 133–143.
16. **Moubayidin L.** Cytokinin-auxin crosstalk / L. Moubayidin, R. Di Mambro, S. Sabatini // Trends Plant Sci. – 2009. – Vol. 14, N 10. – P. 557–562.
17. **Sanchez F. E.** Studies on the effects of carbon: Nitrogen ratio, inoculums type and yeast extract addition on jasmonic acid production by *Botryodiplodia theobromae* Pat. strain RC1 / F. E. Sanchez, M. Gutierrez-Rojas, E. Favela-Torres // Rev. Iberoam Micol. – 2008. – Vol. 25, N 3. – P. 188–192.
18. **The role** of auxins and cytokinins in the mutualistic interaction between *Arabidopsis* and *Piriformospora indica* / J. Vadassery, C. Ritter, Y. Venus et al. // Mol. Plant Microbe Interact. – 2008. – Vol. 21, N 10. – P. 1371–1383.

Надійшла до редакції 16.07.2010

УДК 577.62 + 597.34

М. Г. Малік

Дніпропетровський національний університет ім. Олесь Гончара

ВИКОРИСТАННЯ ГЛІАЛЬНОГО ФІБРИЛЯРНОГО КИСЛОГО БІЛКА МОЗКУ РИБ У ДІАГНОСТИЦІ СТАНУ ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

Розглянуто можливість використання в іхтіотоксикологічних дослідженнях молекулярного цитоскелетного маркера – гліального фібрилярного кислого білка (ГФКБ) мозку риб. Доведено, що тканиноспецифічні білки чутливі до впливу різноманітних несприятливих чинників на організм риб. Отримані дані дозволяють розглядати стан цитоскелета гліальних клітин як надійного та достовірного маркера.

М. Г. Малик

Днепропетровский национальный университет им. Олесь Гончара

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЛИАЛЬНОГО ФИБРИЛЛЯРНОГО КИСЛОГО БЕЛКА МОЗГА РЫБ В ДИАГНОСТИКЕ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Рассмотрена возможность использования в ихтиотоксикологических исследованиях молекулярного цитоскелетного маркера – глиального фибриллярного кислого белка (ГФКБ) мозга рыб. Доказано, что тканеспецифические белки являются чувствительными к воздействию разнообразных неблагоприятных факторов на организм рыб. Полученные данные дают возможность рассматривать состояние цитоскелета глиальных клеток как надежный и достоверный маркер.

M. G. Malik

Oles' Honchar Dnipropetrovsk National University

USE OF GLIAL FIBRILLAR ACIDIC PROTEIN EXTRACTED FROM THE FISH BRAIN IN DIAGNOSTICS OF THE ENVIRONMENT STATE

The possibility to use the molecular cytoskeletal marker – glial fibrillar acidic protein (GFAP) extracted from the fish brain – for conducting ichthyotoxicological research is analysed. It has been proved that histotype-specific proteins are positively sensitive to the influence of the various adverse factors upon a fish organism. The findings allow considering the glial cells' cytoskeleton state as reliable and authentic marker.

Вступ

Вплив різноманітних за походженням забруднювачів викликає багатofакторні зміни у біологічних системах. Іони деяких металів і промислові органічні розчинники розглядаються як найтоксичніші та небезпечні чинники ризику в регіонах зі значною концентрацією металургійних і хімічних підприємств [2; 3]. Навіть незначне підвищення концентрації цих забруднювачів у природних і штучних водоймах призводить до незворотних порушень у клітинах і тканинах живих організмів.

Риби – зручні тест-об’єкти для біомоніторингу, але визначення вмісту важких металів, наявності патологічних уражень внутрішніх органів, порівняння змін морфологічних індикаторів в організмі риб не дають чіткої а, головне, достовірної оцінки ушкоджувальних ефектів, завданих токсикантами.

При вивченні аспектів впливу на риб різних токсикантів широко використовують сучасні біохімічні методи [6]. Вони дають змогу спостерігати чіткі зміни обміну речовин, як правило, задовго до появи морфологічних, фізіологічних та інших відхилень від норми.

Останнім часом особливої актуальності в іхтіотоксикології набувають дослідження специфічних молекулярних маркерів, які адекватно відображають функціональний стан клітин і організму в цілому. Клітини нервової тканини (астроцити) надзвичайно чутливі до дії ушкоджувальних факторів, мають особливі фізіологічні та метаболічні можливості, життєво важливі для підтримання гомеостазу мозку. Пошкодження різного походження, хімічний та фізичний інсульт викликають характерну реактивну відповідь астроцитів – астрогліоз [7], який супроводжується підвищеним синтезом специфічного цитоскелетного компонента астроцитів – гліального фібрилярного кислого білка (ГФКБ). Білок проміжних філаментів гліальних клітин на сьогодні визнаний як надійний специфічний маркер астроцитів, зміни експресії якого відображають патогенетичні порушення ЦНС [12; 14].

Відомі зарубіжні наукові роботи стосовно дослідження реактивної відповіді астроцитів мозку риб, плазунів, птахів, ссавців [10; 12], але порівняльний аналіз стану гліального цитоскелета риб прісноводних екосистем – новий напрям екоотоксикологічних досліджень в Україні, що зумовлює актуальність нашої роботи.

Основна мета роботи – апробація сучасного біохімічного методу визначення специфічних молекулярних маркерів для завдань іхтіотоксикології.

Матеріал і методи досліджень

Як тест-об’єкт обрано два види риб, масові та розповсюджені для прісноводних водойм України: плітка звичайна (*Rutilus rutilus*) і бичок-пісочник (*Neogobius fluviatilis*). Усього відібрано 30 екземплярів риб, які мешкали в різних за ступенем техногенного забруднення біотопах.

Іхтіологічний матеріал відбирали з весняних контрольних-біологічних сіткових уловів, а також аматорськими знаряддями лову (сіткопідйомником-«малявочницею» площею 1 м²) відповідно до загальновизнаних методик [4; 9]. Частину проб відбирали на забрудненій ділянці р. Самара (права притока р. Дніпро), куди надходять стоки хімічних, металургійних та інших виробництв. Як умовно чисту, контрольну ділянку вибрано акваторію нижньої ділянки р. Ворскла (Дніпродзержинське водосховище).

Кожний екземпляр плітки та бичка-пісочника піддавали зовнішньому повному морфоанатомічному аналізу, досліджували вигляд і стан внутрішніх органів риб (печінка, зябра, кишківник, гонади, нирки).

Дослідження вмісту та поліпептидного складу цитоскелетного білка астроглії (ГФКБ) проводили імунохімічним методом. Кількісний аналіз ГФКБ відбувався шляхом порівняння інтенсивності забарвлення відповідних поліпептидних зон між експериментальними та контрольними пробами, що віднесені до кількості загального білка у фракціях. Вміст загального білка визначали методом Лоурі в модифікації Г. Міллера [11]. Рівень продуктів перекисного окислення ліпідів (ПОЛ) визначали методом, який запропонував Ohkawa зі співавторами [13].

Отримані дані обробляли методами математичної статистики для малих вибірок [2]. Відносний вміст ГФКБ наводили у вигляді середньої величини, стандартної похибки середньої, достовірну різницю між групами оцінювали з використанням *t*-критерію Стьюдента ($p < 0,05$) після перевірки гіпотез про нормальність розподілу та відмінності між дисперсіями.

Результати та їх обговорення

Використання повного патолого-морфологічного дослідження риб не виявило серйозних ушкоджень, що можуть загрожувати життю особин (табл.). Лише у бичка-пісочника *Neogobius fluviatilis* із забрудненої ділянки р. Самара виявлено відхилення за показниками у деяких органах (печінка, гонади) порівняно з особинами з умовно чистого району р. Ворскла.

Таблиця

Наявність патологічних змін внутрішніх органів (%) у риб різних ділянок дослідження ($n = 30$)

Органи	р. Самара Дніпровська (забруднена зона)		р. Ворскла (умовно чиста зона)	
	<i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758)	<i>Neogobius fluviatilis</i> (Pallas, 1814)	<i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758)	<i>Neogobius fluviatilis</i> (Pallas, 1814)
Печінка	0,18 ± 0,02	2,21 ± 0,04*	1,21 ± 0,03	2,13 ± 0,04
Селезінка	1,11 ± 0,03*	1,13 ± 0,03*	1,24 ± 0,03	1,13 ± 0,03
Серце	0,12 ± 0,02*	0,12 ± 0,02	0,17 ± 0,02	0,16 ± 0,02
Нирки	1,24 ± 0,03*	1,11 ± 0,02*	1,15 ± 0,02	1,14 ± 0,01
Гонади	1,19 ± 0,03*	1,35 ± 0,04	1,13 ± 0,04	1,13 ± 0,04

Примітка: * – $p < 0,05$.

Отримані дані не дають змоги стверджувати, що об'єкти, у яких не виявлено ознак патологічних порушень, є цілком здоровими і не підлягали дії стресових факторів. Щоб отримати повну інформацію про їх стан, необхідно проводити ретельніше дослідження молекулярних процесів, які адекватно та достовірно відображають стан клітин усього організму.

Результати визначення вмісту загального білка у різних тканинах риб (печінка, м'язи, мозок) не виявили достовірної різниці між групою риб з умовно чистої акваторії р. Ворскла та із забрудненої ділянки р. Самара.

Дослідження специфічних молекулярних маркерів мозку риб із різних біотопів виявило, що відносний вміст цитоскелетного маркера для нервової системи (ГФКБ) мозку *R. rutilus* та *N. fluviatilis* із забрудненої ділянки р. Самара достовірно підвищувався (з 48 до 83 %) порівняно з групами риб умовно чистої акваторії р. Ворскла. Підвищена експресія ГФКБ свідчить про розвиток астрогліозу у відповідь на вплив різних чинників, у першу чергу – різноманітних токсикантів (у тому числі фенолів, пестицидів, важких металів, уміст яких у р. Самара набагато більший порівняно з умовно чистою ділянкою р. Ворскла) [1].

Підвищення вмісту білка проміжних філаментів мозку плітки та бичка-пісочника свідчить про активацію фібрилогенезу, який є основним показником реактивної відповіді астроцитів на пошкодження різної природи, або адекватною реакцією мозку, яка спрямована на захист та підтримання нейронів і функціональної стабільності всього організму. Підвищення вмісту ГФКБ (рис. 1) супроводжувалось не лише зростанням вмісту інтактного поліпептиду 49 кДа, а також появою фрагментів ГФКБ меншою молекулярною масою.

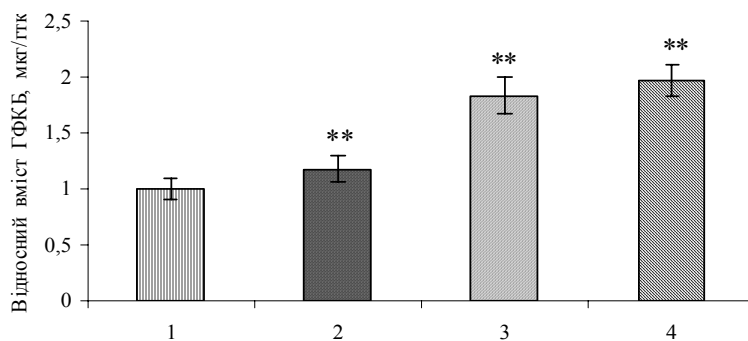


Рис. 1. Відносний вміст ГФКБ у мозку риб:

1 – *R. rutilus* із чистого району р. Ворскла, 2 – *N. fluviatilis* із забрудненого району р. Самара, 3 – *R. rutilus* із забрудненого району р. Самара, 4 – *N. fluviatilis* із забрудненого району р. Самара; ** – достовірні зміни відносно контрольної групи ($p < 0,01$)

Надмірне підвищення вмісту цих деградованих поліпептидів ГФКБ виявлено у придонного виду *N. fluviatilis*, на нашу думку, є доказом накопичення у донних відкладах ріки Самара токсичних водонерозчинних поллютантів та їх впливу на живі організми (рис. 2).

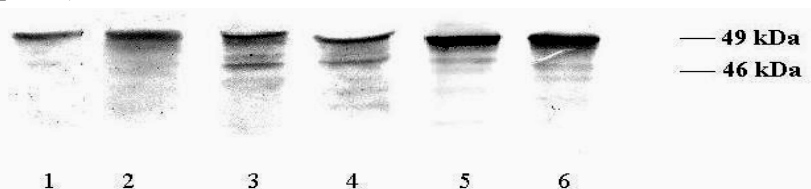


Рис. 2. Результати імуноблотингу водорозчинних фракцій білків із мозку риб:

1–2 – *R. rutilus* із забрудненої ділянки ріки Самара, 3 – *R. rutilus* із забрудненої центральної частини р. Самара, 4 – *R. rutilus* із забрудненої нижньої частини р. Самара, 5 – *N. fluviatilis* із забрудненої центральної частини р. Самара, 6 – *N. fluviatilis* із забрудненої нижньої частини р. Самара

Зміна швидкості перекисного окиснення ліпідів (ПОЛ) та накопичення тіобарбітурових (ТБК) реактивів під дією токсикантів виявила такі закономірності: у м'язах швидкість ферментативного окиснення ліпідів збільшується у 1,3–1,5 раза, у печінці – в 1,2–1,4 раза порівняно з контрольною групою. Показники окисдативного стресу та цитоскелетні зміни мали високий коефіцієнт кореляції ($r = 0,79$) між групами із р. Самара і р. Ворскла.

Це вказує на високий метаболічний статус білків мозку риб, який є засобом забезпечення життєздатності риб у стресових умовах. Головний мозок має провідну роль у визначенні характерних реакцій риб на дію різних токсинів [8]. Мозок бере участь у формуванні рефлекторних реакцій риб на дію токсинів. Збудження, яке виникає за допомогою таких реакцій, швидко поширюється по всьому організму, що призводить до втрати або погіршення рефлексів рівноваги, зниження тону м'язів, погіршення локомоторики тощо.

Достовірне підвищення експресії білка гліальних проміжних філаментів свідчить про індукований астрогліоз, тобто функціональну відповідь нейроглії на несприятливий вплив. Характерне збільшення деградованих поліпептидних фрагментів ГФКБ – ознака цитоскелетних перебудов, порушення стану цитоскелета, морфології та функціонування клітин нервової тканини.

Оксидативний стрес розглядають як одне з найпоширеніших метаболічних порушень організму, індукованих дією несприятливих факторів. Проміжні високо-реактивні продукти, що утворюються у процесі розвитку оксидативного стресу, – важливий показник нейродегенерації та зниження життєздатності в умовах дії токсичних забруднювачів різної природи. Порушення на молекулярному рівні лежить в основі патологічних процесів і відбивається на наступних, вищих рівнях біологічної організації, у тому числі на структурно-функціональній організації екосистем. Реактивний астрогліоз мозку риб, що мешкають на забрудненій акваторії р. Самара, вказує на певний рівень адаптації клітин нервової системи до несприятливих умов, викликаних забрудненням.

Висновки

Вивчення впливу забруднювальних речовин на гідроекосистему не може бути виконане проведенням дослідів лише на організмовому рівні, оскільки дозволяє виявити аномальні зміни лише на пізніх стадіях інтоксикації, коли організм перебуватиме на межі загибелі. Для того, щоб не допустити такої помилки, необхідно застосовувати біохімічні методи діагностики, оскільки підтримання необхідного рівня метаболічних процесів у тканинах нервової системи водних тварин при інтоксикації здійснюється головним чином за рахунок мобілізації можливих адаптаційних процесів, основу яких становлять фізіолого-біохімічні механізми. Дослідження реактивної відповіді астроцитів мозку різних тварин – апробована та результативна методика в екотоксикології, що підтверджується і нашими даними.

Цитоскелетні перебудови мозку риб виникли під впливом несприятливих антропогенних чинників навколишнього середовища. Це дає змогу розглядати ГФКБ як достовірний маркер токсичного впливу поллютантів, за допомогою якого можна оцінити ушкоджувальні ефекти на ранніх етапах і розробити ефективні заходи компенсації патогенетичних порушень.

Бібліографічні посилання

1. **Звіт** про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області за 2005 рік. – Д. : УПРЕ, 2006. – 173 с.
2. **Кокунин В. А.** Статистическая обработка данных при малом числе опытов // Укр. биохим. журнал. – 1975. – Т. 7, № 6. – С. 776–791.
3. **Кораблева А. И.** Оценка уровня органического загрязнения Запорожского водохранилища и предложения по разработке природоохранных мероприятий. – Д. : Дніпро, 1992. – 52 с.
4. **Методика** збору і обробки іхтіологічних та гідробіологічних матеріалів. – К. : Інститут рибного господарства, 1998. – 67 с.
5. **Методи** гідроекологічних досліджень поверхневих вод // О. М. Арсан, О. А. Давидов, Т. М. Дьяченко та ін. / За ред. В. Д. Романенка. – К. : Логос, 2006. – 408 с.
6. **Недзвецкий В. С.** Возможности использования молекулярных компонентов с целью сохранения биологического разнообразия в условиях действия неблагоприятных факторов / В. С. Недзвецкий, А. А. Тихомиров, С. В. Кириченко и др. // Екологія та ноосферологія. – 2005. – Т. 16, № 3–4. – С. 215–221.
7. **Недзвецкий В. С.** Характеристика белков промежуточных филаментов нервной ткани в норме и при различных видах патологии // Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Д. : ДГУ, 1990. – 16 с.
8. **Новіцький Р. О.** Дослідження гістоспецифічних маркерів для біоіндикації у водних екосистемах / Р. О. Новіцький, М. Г. Малік, В. С. Недзвецкий // Сучасні проблеми водних екосистем. Тези доп. Міжнар. конф. – Д. : ДНУ, 2007. – С. 37–38.
9. **Правдин И. Ф.** Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). – М. : Пищ. пром-сть, 1966. – 376 с.

10. **Kalman M.** Glial fibrillary acidic protein-immunopositive structures in the brain of a crocodilian, *Caiman crocodilus*, and its bearing on the evolution of astroglia / M. Kalman, M. Pritz // The J. of Comparative Neurology. – 2001. – P. 460–480.
11. **Miller G. L.** Protein determination for large numbers of samples // Anal. Chem. – 1959. – Vol. 31, N 5. – P. 964–966.
12. **Quantitative** aspects of reactive gliosis: A review / W. T. Norton, D. A. Aquino, I. Hozumi et al. // Neurochem. Res. – 1992. – Vol. 17, N 9. – P. 877–885.
13. **Ohkawa H.** Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction / H. Ohkawa, N. Ohishi, K. Yagi // Anal. Biochem. – 1979. – Vol. 95, N 2. – P. 351–358.
14. **Reactive** astrocytes: Cellular and molecular cues to biological function / J. L. Ridet, S. K. Malhotra, A. A. Privat et al. // Trends Neurosci. – 1997. – Vol. 20, N 12. – P. 570–577.

Надійшла до редколегії 10.06.2010

УДК 633.21 : 577.355 (292.485) (477.5)

Л. Д. Орлова

Полтавський педагогічний університет ім. В. Г. Короленка

ІНТЕНСИВНІСТЬ ФОТОСИНТЕЗУ ЛУЧНИХ РОСЛИН ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Вивчено інтенсивність фотосинтезу у представників 20 родин відділу Magnoliophyta (Angiospermae). З'ясовано, що види дводольної флори мають вищий показник порівняно з однодольними (на 10,0 %). Наведено середні значення з межами коливання від 3,6 до 39,3 мг CO_2 /дм² год. Досліджено види класифіковано за здатністю до асиміляції CO_2 . Встановлено залежність показника від біоморфи та гігроформ. Кореневищні види мають його на рівні достатніх і високих значень. Показано динаміку значень упродовж онтогенезу та вплив на них погодних умов.

Л. Д. Орлова

Полтавский государственный педагогический университет им. В. Г. Короленко

ІНТЕНСИВНОСТЬ ФОТОСИНТЕЗА ЛУГОВЫХ РАСТЕНИЙ ЛЕВОБЕРЕЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ УКРАИНЫ

Изучена интенсивность фотосинтеза у представителей 20 семейств отдела Magnoliophyta (Angiospermae). Выяснено, что виды двудольной флоры имеют более высокий показатель по сравнению с однодольными (на 10,0 %). Приведены средние значения с пределами колебаний от 3,6 до 39,3 мг CO_2 /дм² год. Исследованные виды классифицированы по способности к ассимиляции CO_2 . Установлена зависимость показателя от биоморфы и гигроморф. Подчеркнуто, что корневищные виды имеют его на уровне достаточных и высоких значений. Показано динамику значений на протяжении онтогенеза и влияние на них погодных условий.

L. D. Orlova

V. G. Korolenko Poltava State Pedagogical University

PHOTOSYNTHESIS INTENSITY OF POIC PLANTS OF LEFT BANK UKRAINE'S FOREST-STEPPE

The intensity of photosynthesis is studied in species of 20 families of Magnoliophyta (Angiospermae). It is revealed that in general, dicotyledons have a higher rate in comparison with the monocotyledonous plant by 10.0 %. The average values with limits from 3.6 to 39.3 mg CO_2 /dm² per year are given. The studied species are classified by the ability to assimilate CO_2 . The rate dependence on a biomorph and hygromorph is determined. It is stressed that rhizome species have sufficient and high values of that rate. The dynamics of values during ontogenesis and impact of weather conditions on them are shown.

Вступ

Лучні фітоценози – основні природні угіддя, які служать кормовою базою для тваринництва. Вони відрізняються переважанням багаторічних трав'янистих рослин, що зростають у різних умовах зволоженості, освітленості, температурного режиму та багатства ґрунтів [5]. Ці представники флори мають неоднакову продуктивність, по-

ширення та, відповідно, роль в утворенні лучних травостоїв. Основним процесом, який визначає на 90 % утворення сухої речовини та врожайність зелених рослин, у тому числі лучних, є фотосинтез [7; 12]. На цю функцію рослин впливає багато факторів як екзо-, так і ендегенних. Серед головних потрібно відмітити умови зростання, систематичне положення виду, вік.

Вплив зовнішніх і внутрішніх умов на процес асиміляції CO_2 вивчений досить різнопланово. Але у більшості випадків об'єкти дослідження – культурні представники при вирощуванні їх у відкритому та закритому ґрунті, а дикорослим рослинам приділялось менше уваги. Багато авторів визначали особливості інтенсивності фотосинтезу у представників Роасае. Зокрема, К. Я. Біль та І. Р. Фоміна встановили взаємозв'язок між фотосинтетичним вуглецевим (карбоновим) метаболізмом і фотосинтетичною активністю хлоропластів на прикладі *Zea mays* L. [4]. Досить велика кількість досліджень присвячена фотосинтезу різних видів і сортів *Triticum* L.: впливу фосфорного живлення [22], температурного стресу [24], параметрів фотосинтетичного апарату та зерновій продуктивності, впливу температурного стресу [19; 20], проведено аналіз внутрішніх чинників міжгенотипової варіабельності фотосинтезу [21] тощо. З'ясовано залежність між CO_2 -газообміном і факторами середовища у *Cucumis sativus* L. [11; 14]. Доведено супряженість змін фотосинтезу, водного та теплового режимів різних видів культурних рослин залежно від факторів зовнішнього середовища [9; 17]. Проведено вивчення залежності концентрації CO_2 у різних представників флори від факторів середовища [23]. Цікаві дослідження здійснені Г. С. Горбуною, яка детально проаналізувала зміни фотосинтезу та інших фізіологічних процесів деяких культурних рослин в онтогенезі за дії різних факторів [8].

Основні дослідження щодо встановлення різних показників фотосинтезу у дикорослих лучних представників проведені ще за часів Радянського Союзу. Серед них класичними можуть бути результати робіт Л. М. Алексеєнко щодо з'ясування продуктивності лучної флори залежно від умов середовища [1]. У її монографії узагальнено результати дослідження продуктивності фотосинтезу деяких важливих лучних рослин як у природних рослинних угрупованнях, так і в агроценозах. Детально аналізується режим інтенсивності освітлення, температури, вологості, родючості ґрунту, структура травостою та їх вплив на площу листя у рослин і угрупованнях як провідних факторів продукційного процесу та врожайності рослин. Отримані матеріали дозволили автору послідовувати загальне накопичення органічної речовини в процесі життєдіяльності рослинних ценозів.

В. Л. Морозов і Г. А. Бєлая встановили екологічні особливості далекосхідного великотрав'я [15]. Методами експериментальної екології охарактеризовано водний режим, фотосинтез та інші аспекти продукційної активності рослин. Ретельно досліджено продуктивність і біоенергетику видів при просторово-часовій мінливості природних умов на Камчатці та Сахаліні. Пояснено особливості феноменального росту та високої продуктивності великотравних ценозів з урахуванням їх біологічних і екологічних властивостей.

Л. М. Лук'янова, Т. Н. Локтева, Т. М. Буличова виявили особливості газообміну та пігментної системи рослин Кольської Субарктики [13]. З'ясовано сезонні та добові зміни, світлову та температурну залежність фотосинтезу та пігментної системи рослин і питань дихання. Проведено ботаніко-географічний аналіз асиміляційної активності рослин. Фундаментальним було вивчення фізіології та біохімії багаторічних трав'янистих рослин на Півночі [25]. Саме у цій праці проведено кількісний аналіз росту рослин, динаміки накопичення біомаси, наростання площі листя упродовж онтоге-

незу. На основі такого вивчення з'ясовано основні складові продукційного процесу рослин: фотосинтетична діяльність, розподіл і використання продуктів фотосинтезу тощо. Проведено оцінку потенційних можливостей фотосинтетичного апарату багаторічних трав'янистих рослин, аналіз донорно-акцепторних відносин між органами, що виробляють і споживають асиміляти.

Відомості про фотосинтез лучних видів природної флори Лівобережного Лісостепу України в останні роки практично відсутні. Саме тому основною метою наших досліджень було з'ясувати інтенсивність фотосинтезу лучних рослин регіону.

Матеріал і методи досліджень

Інтенсивність фотосинтезу досліджували у представників 20 родин лучної флори. Усі вони входили до відділу Magnoliophyta (Angiospermae). Серед них 16 родин належали до класу Magnoliopsida (Dycotyledones), 4 – до класу Liliopsida (Monocotyledones). Інтенсивність фотосинтезу досліджували методом асиміляційної колби за Л. А. Івановим і Н. Л. Коссовичем [6]. Асиміляція CO_2 здійснювалася у природних умовах, а встановлення її кількості – в лабораторії шляхом титрування. Математична обробка результатів проводилася методом варіаційної статистики за Б. О. Доспеховим [9].

Результати та їх обговорення

Фотосинтетичний газообмін досить складно вивчити через слабко з'ясовані взаємозв'язки між фотосинтезом, диханням, мінеральним живленням та іншими процесами, які відбуваються в рослинах, і факторами зовнішнього середовища. Також цілком зрозуміло, що без знання фотосинтетичних характеристик окремих видів як у природі, так і в агроценозах неможливо зрозуміти сутність продукційного процесу і тим самим оптимізувати життєдіяльність рослин [25].

Висока продуктивність і врожайність рослин у першу чергу залежить від інтенсивності фотосинтезу на одиницю площі листя в середньому упродовж вегетаційного періоду.

Д. А. Алієв [2] проаналізував роботи попередників з цього питання. Він з'ясував, що перші дослідники не спостерігали прямої залежності між інтенсивністю поглинання вуглекислого газу та продуктивністю рослин. У пізніших працях автори експериментально довели наявність паралелізму між інтенсивністю фотосинтезу та накопиченням врожаю. Зокрема, він наводить результати класичних досліджень В. Н. Любименка, у працях якого показано, що спостерігається збільшення накопичення сухої речовини при штучному видаленні частини листків, і це пов'язано з підвищенням енергії фотосинтезу, яка, у свою чергу, викликала збільшення швидкості відтоку асимілятів для їх кращого використання на ростові процеси.

З'ясування показників інтенсивності фотосинтезу потребує визначення абсолютних величин і меж їх коливань. Дані, отримані різними авторами, показують, що інтенсивність засвоєння вуглекислого газу змінюється в досить широкому діапазоні залежно від різних факторів. У природних умовах при нормальній концентрації CO_2 у повітрі у період найбільшої активності трав'янистих сільськогосподарських рослин цей показник складає $20\text{--}30 \text{ мг}\cdot CO_2/\text{дм}^2 \cdot \text{год}$. [2]. В. Г. Сидоренко досліджував природні лучні травостої, поліпшені шляхом підсівання високопродуктивних видів флори, та лучні агроценози. Він установив, що інтенсивність фотосинтезу вища в едифікаторів мозаїчного агроценозу і в одновидових агроценозах багаторічних трав, ніж у змішаних травостоях [18]. Л. М. Алексєєнко наводить показники інших авторів на рівні 20–

40 мг·CO₂/дм² · год. у фазі бутонізації лучних трав [1]. В. Л. Морозов і Г. А. Бєлая для високорослих домінантів наводять його в межах 22–40 мг·CO₂/дм² · год. [15]. Також є відомості щодо інтенсивності асиміляції CO₂ представників Poaceae. Вона складає від 5–8 до 16–33 мг·CO₂/дм² · год. залежно від виду рослин [24]. Л. М. Лук'янова зі співавторами дає ці показники в інтервалі 0,5–10,0 мг·CO₂/дм² · год. [13].

Вивчення інтенсивності фотосинтезу у представників лучних травостоїв у дослідженому регіоні показало, що межі показника досить широкі. Інтервал коливань складав 3,6–39,3 мг·CO₂/дм² · год. Раніше наведені нами результати вивчення фізіологічних показників у *Echium vulgare* L. перебувають на рівні вказаних цифр [16].

Середнє значення інтенсивності фотосинтезу вивчених лучних рослин – 13,8 ± 5,34 мг·CO₂/дм² · год. Менша інтенсивність виявилася у представників таких родів: *Cirsium* Mill., *Fragaria* L., *Stachis* L., *Ranunculus* L., *Veronica* L., *Potentilla* L., *Rumex* L., *Melandrium* Roehl., *Polygonum* L., *Fritillaria* L. На іншому кінці варіаційного ряду були представники родів *Trifolium* L., *Lamium* L., *Leucanthemum* Mill., *Urtica* L., *Echium* L., *Symphytum* L., *Verbascum* L. Середні показники більшості видів Poaceae були менші вказаного середнього значення. Подібні результати виявились і в інших авторів [25].

На рівні родин, родів і видів найчастіше трапляється інтенсивність асиміляції вуглекислого газу в межах 11–20 мг·CO₂/дм² · год. (відповідно 60,0, 46,2 та 48,7 %). Значення менше 10,0 мг·CO₂/дм² · год. траплялися у 20–26 % вивчених представників, а понад 20,0 мг·CO₂/дм² · год. – у 4–11 % (рис. 1).

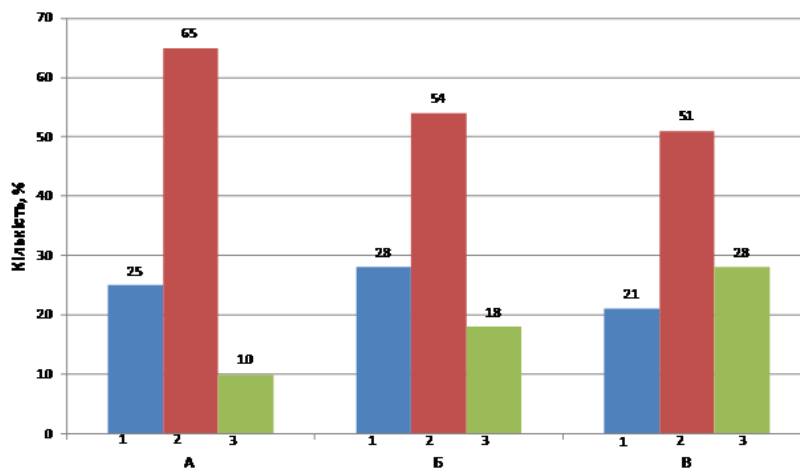


Рис. 1. Частота трапляння середніх показників інтенсивності фотосинтезу лучних представників Лівобережного Лісостепу України за родинами (А), родами (Б), видами (В): 1 – 1–10, 2 – 11–20, 3 – понад 21 мг CO₂/дм² · год.

Д. А. Алієв [2] наводить загальноприйняту градацію значень інтенсивності фотосинтезу. Величини в 2–7 мг·CO₂/дм² · год. – низький показник, 10–15 – середній, 15–25 – достатній, 25–40 – високий. Також автор вказує максимальні значення за даними різних досліджень на рівні 80–100 і навіть 200 мг·CO₂/дм² · год. при різних методах вивчення. Виходячи з наведеної класифікації, можна вважати, що інтенсивність асиміляції CO₂ вивчених лучних представників в основному середня та достатня.

Аналіз отриманих результатів відповідно до систематичного положення досліджених видів рослин показав, що в цілому представники класу Magnoliopsida (Dycotyledones) мають вищу інтенсивність фотосинтезу порівняно з класом Liliopsida (Monocotyledones) приблизно на 10 %. Серед видів дводольної флори високі показники

мали Fabaceae, Urticaceae, Boraginaceae та деякі інші. Меншими вони були у Caryophyllaceae, Ranunculaceae, Rosaceae, Polygonaceae. Решта родин мали цей показник на рівні середніх значень. У вивчених однодольних тільки Liliaceae мали показник на рівні низьких значень, у решти він був у межах середніх і достатніх цифр.

У цілому, за господарськими групами рослин на луках [5], показник у цифровому відношенні в низхідному порядку мав такий вигляд: Fabaceae > Poaceae > Cyperaceae. Види групи різнотрав'я мали його в середньому $13,1 \pm 5,3 \text{ мг} \cdot \text{CO}_2 / \text{дм}^2 \cdot \text{год}$.

Максимальні та мінімальні значення інтенсивності фотосинтезу упродовж онтогенезу також відрізняються великою варіабельністю. Менше $10 \text{ мг} \cdot \text{CO}_2 / \text{дм}^2 \cdot \text{год}$ ці значення були у представників 15 родів, $10\text{--}20 \text{ мг} \cdot \text{CO}_2 / \text{дм}^2 \cdot \text{год}$ – у 13, а понад $20 \text{ мг} \cdot \text{CO}_2 / \text{дм}^2 \cdot \text{год}$ – у 11.

Порівняння вивченого показника у лучних рослин за біоморфами, за О. Л. Бельгардом [5], показало, що однорічні лучні види мали його на рівні середніх і достатніх величин. Цей факт, очевидно, дозволяє їм швидко накопичити органічні речовини для того, щоб витримати конкуренцію з багаторічними рослинами, які в лучних травостоях переважають. Багаторічні представники проявляли здатність до асиміляції CO_2 в широких межах від низької до високої. Причому кореневищні види мали інтенсивність фотосинтезу в основному достатню та високу. На нашу думку, це можна пояснити кращими можливостями при весняному відростанні та прискореному формуванні вегетативних і генеративних органів за рахунок запасу поживних речовин у підземних видозмінах пагона. Така їх властивість, мабуть, і дозволяє перемагати в конкуренції з іншими багаторічними видами.

Аналіз активності асиміляції CO_2 вивчених рослин відповідно до їх відношення до вологості (гігроморфи) виявив, що вивчені гігрофіти та типові ксерофіти мали показник в основному достатній і високий, що дозволяло їм накопичувати досить велику масу надземних органів. Мезофітні види з перехідними формами володіли різними значеннями показника від низьких до високих, що певною мірою може пояснити їх роль у формуванні лучних ценозів.

Динаміка інтенсивності асиміляції CO_2 мала таку тенденцію з деякими відхиленнями: на початку вегетації показник низький, у подальшому до фази колосіння – бутонізації – початку квітування спостерігається його збільшення. Після квітування та при масовому плодоношенні виявляється його поступовий спад і дуже низький – у кінці вегетації.

Таку картину можна показати на прикладі *Elytrigia repens* (L.) Nevsi (рис. 2). На графіку спостерігається одновершинна крива залежності показника від фази онтогенезу. Максимальні значення виявляються у період виходу в трубку – колосіння. На початку вегетації й у кінці показник низький, перебуває приблизно на одному рівні. У багатьох Asteraceae, Labiatae, Brassicaceae, Rosaceae та інших виявляється подібна тенденція.

Досить суттєві корективи можуть вносити зміни метеофакторів, тип ґрунту тощо. На прикладі багатьох видів можна побачити зменшення показника при формуванні основної частини вегетативних і генеративних органів при підвищенні температури до $+35\text{...}+37^\circ\text{C}$ та тривалій відсутності опадів. Такі погодні умови часто спостерігаються у кінці травня – червні на більшій частині Лівобережжя в останні роки. Згодом, при зниженні температури та дощовій погоді, спостерігається поступове збільшення показника у період квітування та плодоношення.



Рис. 2. Динаміка інтенсивності фотосинтезу *Elytrigia repens* L. на вивчених луках

Висновки

Інтенсивність фотосинтезу лучної флори – важливий і дуже мінливий показник життєдіяльності рослин, який залежить від багатьох факторів, у першу чергу від систематичного положення, фази онтогенезу, зовнішніх умов. Середні значення показника були у дводольних рослин $14,0 \pm 5,8$ мг·CO₂/дм² · год., у однодольних – $12,8 \pm 3,7$ мг·CO₂/дм² · год. Найбільше представників видів, родів, родин мали значення в межах 10–20 мг·CO₂/дм² · год., тобто вони проявляють в основному середню та достатню здатність до асиміляції CO₂. Для представників родин Fabaceae, Urticaceae, Boraginaceae характерні максимальні показники, мінімальні значення були в родинях Caryophyllaceae, Ranunculaceae, Rosaceae, Polygonaceae. Динаміка інтенсивності фотосинтезу упродовж онтогенезу показала його зростання до переходу в генеративний стан із наступним зниженням. Великі корективи в цю тенденцію вносять умови зростання рослин, зокрема вологість і зміни температури навколишнього середовища.

Бібліографічні посилання

1. Алексеев Л. Н. Продуктивность луговых растений в зависимости от условий среды. – Л. : Изд-во Ленинград. ун-та, 1967. – 168 с.
2. Алиев Д. А. Фотосинтетическая деятельность, минеральное питание и продуктивность растений. – Баку : Элм, 1974. – 335 с.
3. Бельгард А. Л. Лесная растительность юго-востока Украины. – К., 1950. – 264 с.
4. Билль К. Я. Взаимосвязь углеродного метаболизма и фотосинтетической активности хлоропластов в листьях кукурузы / К. Я. Билль, И. Р. Фомина // Физиология и биохимия культ. растений. – 1985. – Т. 17, № 2. – С. 118–122.
5. Боговін А. В. Трав'янисті біогеоценози, їх поліпшення та раціональне використання / А. В. Боговін, І. Т. Слюсар, М. К. Царенко. – К. : Аграрна наука, 2005. – 360 с.
6. Вікторов Д. П. Практикум по физиологии растений. – Воронеж : Изд-во Воронеж. ун-та, 1991. – 174 с.
7. Гуляев Б. И. Фотосинтез и продуктивность растений: проблемы, достижения, перспективы исследований // Физиология и биохимия культ. растений. – 1996. – Т. 28, № 1–2. – С. 15–35.
8. Горбунова Г. С. Изменения фотосинтеза и некоторых других физиологических процессов в онтогенезе растений в связи с различными условиями среды: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Л., 1953. – 18 с.
9. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). – М. : Колос, 1979. – 416 с.

10. **Карманов В. Г.** Сопряженные изменения фотосинтеза водного и теплового режимов растений в зависимости от факторов внешней среды / В. Г. Карманов, Г. А. Одуманова-Дунаева, В. Е. Соловьев // Ботан. журн. – 1981. – Т. 66, № 4. – С. 502–514.
11. **Кособрюхов А. А.** Влияние периодического повышения концентрации углекислоты в атмосфере на CO_2 -газообмен и содержание углеводов в листьях огурцов // Вестник Башкирского ун-та. – 2001. – № 2 (1). – С. 47–49.
12. **Кочубей С. М.** Физико-химические процессы фотосинтеза: история исследований и современное состояние // Физиология и биохимия культ. растений. – 1996. – Т. 28, № 1–2. – С. 73–88.
13. **Лукьянова Л. М.** Газообмен и пигментная система растений Кольской Субарктики / Л. М. Лукьянова, Т. Н. Локтева, Т. М. Бульчова. – Апатиты : АН СССР, 1986. – 127 с.
14. **Марковская Е. Ф.** Зависимость CO_2 -газообмена огурца от факторов среды на ранних этапах онтогенеза / Е. Ф. Марковская, В. К. Курец // Физиология и биохимия культ. растений. – 1986. – Т. 18, № 2. – С. 186–192.
15. **Морозов В. Л.** Экология дальневосточного крупнотравья / В. Л. Морозов, Г. А. Белая. – М. : Наука, 1988. – 255 с.
16. **Орлова Л. Д.** Фізіологічні особливості синяка звичайного (*Echium vulgare* L.) / Л. Д. Орлова, Т. С. Двірня / Сучасні проблеми біології, екології та хімії. Матер. міжнар. конф., присвяченої 20-річчю біологічного факультету ЗНУ. – Запоріжжя, 2007. – С. 73–76.
17. **Регуляція** фотосинтезу і продуктивність рослин: фізіологічні та екологічні аспекти / Т. М. Шадчина, Б. І. Гуляєв, Д. А. Кірізій и др. – К. : Фітосоціоцентр, 2006. – 384 с.
18. **Сидоренко В. Г.** Эколого-ценотические факторы повышения фотосинтетической и биологической продуктивности луговых фитоценозов: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.05 – Ботаника. – Д., 1980. – 26 с.
19. **Стасик О. О.** Влияние высокотемпературного стресса на водный режим, фотосинтез и фотодыхание в листьях проростков разных по засухоустойчивости сортов озимой пшеницы / О. О. Стасик, И. А. Григорюк // Физиология и биохимия культ. растений. – 2000. – Т. 32, № 3. – С. 171–178.
20. **Стасик О. О.** Параметри фотосинтетичного апарату та зернова продуктивність видів і сортів ярої пшениці // Физиология и биохимия культ. растений. – 2007. – Т. 39, № 3. – С. 200–206.
21. **Стасик О. О.** Аналіз внутрішніх чинників міжгенотипної варіабельності інтенсивності фотосинтезу в роді *Triticum* L. за даними газометричних досліджень // Физиология и биохимия культ. растений. – 2007. – Т. 39, № 6. – С. 488–495.
22. **Стахів М. П.** Вплив рівня фосфорного живлення на фотосинтетичний апарат і продуктивність рослин озимої пшениці / М. П. Стахів, В. В. Швартау, Д. А. Кірізій // Физиология и биохимия культ. растений. – 2007. – Т. 39, № 6. – С. 514–521.
23. **Тітаренко Т. Є.** Вплив затоплення ґрунту на CO_2 -газообмін, транспірацію, вміст пластидних пігментів і флуоресценцію хлорофілу у плодкових рослин / Т. Є. Тітаренко, Д. А. Кірізій, О. І. Китаїв // Физиология и биохимия культ. растений. – 2001. – Т. 33, № 3. – С. 268–274.
24. **Феоктістов П. О.** Інтенсивність фотосинтезу проростків озимої м'якої та твердої пшениці за дії високої температури / П. О. Феоктістов, Д. А. Кірізій, І. П. Григорюк // Физиология и биохимия культ. растений. – 2005. – Т. 37, № 4. – С. 292–298.
25. **Физиология** и биохимия многолетних растений на Севере. – Л. : Наука, 1982. – 142 с.

Надійшла до редколегії 22.01.2010

УДК 632.3.01/.08+579.8+57.083.1

О. С. Стончюс, Н. В. Черевач, А. І. Вінніков

Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара

ОСОБЛИВОСТІ ВИДІЛЕННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ФІТОПАТОГЕННИХ БАКТЕРІЙ ТА ПОШУК ЇХ ПРИРОДНИХ АНТАГОНІСТІВ

Виділено та досліджено мікрофлору овочів, уражених бактеріозами. На основі вивчення морфологічних, культуральних і фізіолого-біохімічних ознак ідентифіковано штами, визначено їх патогенність для рослин. Досліджено антагоністичний вплив штаму *Bacillus thuringiensis* var. *thuringiensis* IMB B-7186 на виділені культури мікроорганізмів.

Е. С. Стончюс, Н. В. Черевач, А. И. Винников

Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара

ОСОБЕННОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ФИТОПАТОГЕННЫХ БАКТЕРИЙ И ПОИСК ИХ ЕСТЕСТВЕННЫХ АНТАГОНИСТОВ

Выделена и исследована микрофлора овощей, пораженных бактериозами. На основе изучения морфологических, культуральных и физиолого-биохимических признаков проведена идентификация штаммов, определена их патогенность для растений. Исследовано антагонистическое влияние штамма *Bacillus thuringiensis* var. *thuringiensis* IMB B-7186 на выделенные культуры микроорганизмов.

O. S. Stonchyus, N. V. Cherevach, A. I. Vinnikov

Oles' Honchar Dnipropetrovsk National University

FEATURES OF ISOLATION AND IDENTIFICATION OF PHYTOPATHOGENIC BACTERIA AND SEARCH OF THEIR NATURAL ANTAGONISTS

Microflora of vegetables affected by bacteriosis was isolated and investigated. On the basis of morphological, cultural, physiological and biochemical characteristics of selected strains they were identified, and their plants pathogenicity was shown. The antagonistic influence of strain *Bacillus thuringiensis* var. *thuringiensis* IMV B-7186 on isolated bacterial culture was studied.

Вступ

Бактеріози рослин – одна з головних причин значного зниження врожаїв сільськогосподарських культур. Світові збитки від них становлять 12 % потенційного врожаю, не враховуючи втрат при зберіганні [1–3; 8]. Втрати виражаються не тільки в загибелі або зменшенні врожаю, а й у зниженні його якості, тому що частково ушкоджена сільськогосподарська продукція втрачає свої технічні, харчові, товарні та інші властивості [7]. У природних біоценозах присутність фітопаразитів – необхідне явище. Вони обмежують розростання домінантних видів рослин, сприяють зменшенню кон-

курєнції хазяїв між собою, підтримуючи видовє різноманіття фітоцєнозів [4; 5]. Нині відомо понад 300 видів фітопатогєнних бактерій. Це представники родів *Agrobacterium*, *Corynebacterium*, *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Erwinia*, *Streptomyces*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Shigella*, *Aplanobacterium*, *Chromobacterium*, *Rhizobium* [6]. Зовнішніми ознаками бактеріозів рослин можуть бути гнилизни, зів'янення, некрози, опіки, нарости, хлорози, деформації [4; 7–10].

Перехід сільського господарства на нові технології сприяв значній зміні фітосанітарного стану полів, зокрема, посиленню розвитку ряду захворювань, що раніше не мали негативного значення. Екологічна обстановка, що сформувалась, вказує на актуальність дослідження збудників бактеріозів і розробки ефективних способів захисту рослин. У зв'язку з цим мета даної роботи – оцінити особливості виділення та ідентифікації фітопатогєнних бактерій, визначити природні штами-антагоністи для боротьби з ними.

Матеріал і методи досліджень

Для виділення фітопатогєнних бактерій використано овочі з ознаками бактеріозів, придбані в супермаркетах і відібрані в овочесховищі в зимово-весняний період зберігання. Бактерії виділяли класичними методами [11]. Ідентифікацію штамів проводили за дев'ятим виданням Визначника бактерій Берджі [12]. Патогєнність виділєних штамів визначали за реакцією надчутливості (метод А. Клемєнта та М. С. Матишевської) [11]. Для інокуляції як індикатор брали герань кімнатну (*Pelargonium zonale*). У міжклітинний простір листя вводили 0,1 мл бактеріальної суспензії. Контроль – відповідний об'єм стерильної води. За рослиною спостєрігали протягом 14 діб.

Антагоністичну активність штаму *B. thuringiensis* var. *thuringiensis* IMB B-7186 відносно виділєних культур вивчали на чашках Петрі з картопляним агаром методами перпендикулярних штрихів та агарових блєчків [13].

Результати та їх обговорєння

Для формування робочої колекції фітопатогєнних бактерій проаналізовано 8 зразків овочів, уражєних бактеріозами, та виділено 15 штамів мікроорганізмів. Із метою ідентифікації всі виділені штами досліджено за 43 ознаками. За одним винятком усі штами були грамнегативними паличками, аєробними або факультативно анаєробними, рухливими, каталазопозитивними, відновлювали нітрати, не утворювали фєнілаланіндєзамінази, індолу та сірководню.

На підставі отриманих даних 6 штамів віднесєно до групи 5 – факультативно анаєробні грамнегативні палички (табл. 1). Серед них чотири (№ 4, 11, 1 та 6) – до родини Enterobacteriaceae, оскільки вони були рухливими, утилізували глюкозу та інші вуглеводи з утворєнням кислоти, а деякі – і газу, відновлювали нітрати, не утворювали оксидазу, були присутні на овочах. Штами № 3 та 12 відповідали перерахованим властивостям, але були оксидазопозитивними і не утворювали колонії фіолєтового кольору, що дозволило віднести їх до родини Vibrionaceae.

Із чотирьох штамів родини Enterobacteriaceae два ідентифіковано до виду. Штам № 4 мав позитивну реакцію Фогєс–Проскауєра, гідролізував желатину, сєчєвину, твін, утворював рожевий і коричневий пігменти залежно від середовища. Враховуючи ці властивості та дані щодо використання різноманітних субстратів як джерєла вуглєцю, штам визначєно як *Serratia marcescens*.

Штам № 11 має негативну реакцію Фогєс–Проскауєра, не гідролізує желатину, сєчєвину, твін, утворює пєктолітичні ферменти, не продукує амієолітичних ферментів,

синтезує світло-коричневий не дифундуючий у середовище пігмент. Враховуючи ці властивості та дані щодо використання різноманітних субстратів як джерела вуглецю, штам віднесено до *Enterobacter agglomerans*.

Таблиця 1

Ознаки штамів, віднесених до групи 5 – факультативно анаеробні грамнегативні палички

Ознака	Родина Enterobacteriaceae				Родина Vibrionaceae	
	<i>Serratia marcescens</i>	<i>Enterobacter agglomerans</i>	–		–	
	4	11	1	6	3	12
Анаеробний ріст	+	+	+	+	+	+
Рухливість	+	+	+	+	+	+
Утворення кислоти з глюкози	+	+	+	+	+	+
Утворення газу з глюкози	–	–	+	–	–	–
Оксидаза	–	–	–	–	+	+
Каталаза	+	+	+	+	+	+
Відновлення нітратів	+	+	+	+	+	+
Реакція Фогес–Проскауера	+	–	+	+	–	+
Гідроліз желатини	+	–	+	+	–	+
Гідроліз сечовини	+	–	+	+	+	+
Гідроліз твіну-80	+	–	+	–	–	–
Пектолітичні ферменти	+	+	+	–	+	–
Амілолітичні ферменти	+	–	–	+	–	+
Пігмент	рожевий, коричневий	коричневий	бежевий	бежевий	коричневий	–

Примітки: «+» – позитивна реакція, «–» – негативна реакція.

Інші вісім штамів віднесено до групи 4 – грамнегативні, аеробні та мікроаерофільні палички та коки, роду *Pseudomonas*, оскільки вони були аеробними, рухливими, не потребували органічних факторів росту, утворювали пігменти бежевий та коричневий (табл. 2). Серед цих штамів шість – оксидазонегативні, гідролізують желатину (крім штаму № 10), деякі утворюють амілолітичні ферменти, переважно використовують нітроген мінеральних солей і утворюють лецитиназу. Враховуючи ці ознаки та дані щодо використання різноманітних субстратів як джерела вуглецю, 4 штами віднесено до *P. viridiflava* або *P. syringae*, що є дуже близькими, а штам № 10 – до *P. syringae*. Штами № 14 та 15 слабо оксидазопозитивні, продукують темно-коричневий дифундуючий у середовище пігмент. За цими ознаками та здатністю утилізувати різноманітні джерела вуглецю їх ідентифіковано як *P. gladioli*.

Єдиний із виділених грампозитивний штам представлений аеробними спорулюючими паличками, на підставі чого його віднесли до роду *Bacillus*.

Для встановлення здатності виділених штамів викликати патологічні зміни на рослинах за реакцією надчутливості як індикатора використано кімнатну рослину герань (*Pelargonium zonale*). На третю добу у місці введення суспензії штаму № 9 (рід *Pseudomonas*) спостерігалась невелика зона некрозу. На 14-ту добу спостерігались зміни листків, інокульованих суспензіями штамів, у вигляді некрозів, зів'янення та пожовтіння. Один штам інтенсивно викликав місцевий некроз, дев'ять – повільно спричинювали зів'янення та пожовтіння, чотири – не викликали ніяких симптомів.

Із метою пошуку природних мікробів-антагоністів виділених штамів визначено їх взаємовідносини з колекційним штамом *B. thuringiensis* var. *thuringiensis* IMB B-7186. Із літературних даних відомо, що бактерії цього виду, крім інсектицидного δ -ендотоксину, також продукують бактеріоцини з різноманітним спектром дії [14; 15].

Таблиця 2

**Ознаки штамів, віднесених до групи 4 – грамнегативні,
аеробні/мікроаерофільні палички та коки**

Ознака	Під <i>Pseudomonas</i>							
	<i>P. syringae</i> або <i>P. viridiflava</i>					<i>P. syringae</i>	<i>P. gladioli</i>	
	2	5	7	8	9	10	14	15
Ріст в атмосфері повітря	+	+	+	+	+	+	+	+
Рухливість	+	+	+	+	+	+	+	+
Оксидаза	–	–	–	–	–	–	±	±
Каталаза	+	+	–	+	+	+	+	+
Гідроліз желатини	+	+	+	+	+	–	+	+
Гідроліз крохмалю	–	–	+	–	–	–	–	–
Використання азоту мінеральних солей	+	–	–	+	+	+	+	+
Лецитиназа	+	+	–	+	–	–	+	+
Пігмент	бежевий	бежевий	–	–	коричневий	бежевий	коричневий, дифундуючий	коричневий, дифундуючий

Примітки: «+» – позитивна, «±» – слабопозитивна, «–» – негативна реакція.

Для аналізу використовували одно- та семидобові культури *B. thuringiensis*. Однодобова культура проявила антагонізм лише до штаму № 7, семидобова – із різною силою уповільнювала ріст 11 з досліджених штамів (табл. 3).

Семидобовий штам *B. thuringiensis* проявив антагоністичну активність приблизно до 79 % дослідних штамів, що свідчить про можливість використання спорулюючих штамів *B. thuringiensis* як засобів біологічного захисту рослин від бактеріозів.

Таблиця 3

Взаємовідносини *Bacillus thuringiensis* та виділених штамів

№ штаму	Таксономічне положення	Пригнічення росту досліджуваних штамів <i>B. thuringiensis</i>	
		1-добова культура	7-добова культура
1	<i>Enterobacteriaceae sp.</i>	–	++
2	<i>Pseudomonas sp.</i>	–	+
3	<i>Vibrionaceae sp.</i>	–	+
4	<i>Enterobacteriaceae sp.</i>	–	++
5	<i>Pseudomonas sp.</i>	–	++
6	<i>Enterobacteriaceae sp.</i>	–	–
7	<i>Pseudomonas sp.</i>	++	+++
8	<i>P. sp.</i>	–	–
9	<i>P. sp.</i>	–	++
10	<i>P. sp.</i>	–	+
11	<i>Enterobacteriaceae sp.</i>	–	+++
12	<i>Vibrionaceae sp.</i>	–	–
14	<i>Pseudomonas sp.</i>	–	++
15	<i>P. sp.</i>	–	++

Примітки: «+» – слабка позитивна реакція, «++» – помірна позитивна реакція, «+++» – сильна позитивна реакція, «–» – негативна реакція.

Висновки

Із 8 зразків, уражених бактеріозами овочевих культур, виділено 15 штамів бактерій, проведено їх ідентифікацію. 4 штами віднесено до родини Enterobacteriaceae, 2 – до родини Vibrionaceae, 8 – до роду *Pseudomonas* та 1 – до роду *Bacillus*. Встановлено фітопатогенність 10 виділених штамів відносно *Pelargonium zonale*: 2 представників

родини Enterobacteriaceae, 2 – родини Vibrionaceae та 6 штамів – роду *Pseudomonas*. Штам *B. thuringiensis* проявляє антагоністичну активність відносно 3 штамів родини Enterobacteriaceae, 3 – родини Vibrionaceae та 7 штамів фітопатогенних видів роду *Pseudomonas*.

Бібліографічні посилання

1. **Желдакова Р. А.** Фитопатогенные микроорганизмы / Р. А. Желдакова, В. Е. Мямин. – Мн. : БГУ, 2006. – 116 с.
2. **Воронкевич И. В.** Выживаемость фитопатогенных бактерий в природе. – М. : Наука, 1984. – 270 с.
3. **Новый справочник химика и технолога.** Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ. Ч. 2 / Под ред. В. А. Столярова. – М. : Профессионал, 2005. – 1142 с.
4. **Чикин Ю. А.** Общая фитопатология. – Томск : Томск. гос. ун-т, 2001. – 168 с.
5. **Рабинович Г. Ю.** Санитарно-микробиологический контроль объектов окружающей среды и пищевых продуктов с основами общей микробиологии / Г. Ю. Рабинович, Э. М. Сульман. – Тверь : ТГТУ, 2005. – 220 с.
6. **Введение.** Бактерии и актиномицеты // Жизнь растений. – Т. 1. / Под ред. Н. А. Красильникова, А. А. Уранова. – М. : Просвещение, 1974. – 487 с.
7. **Черемисин Н. А.** Общая патология растений. – М. : Высшая школа, 1973. – 352 с.
8. **Захарченко Н.** Трансгенные растения с цекропином не болеют и не вянут // Наука и жизнь. – 2004. – № 1.
9. **Пересыпкин В. Ф.** Сельскохозяйственная фитопатология. – М. : Агропромиздат, 1989. – 480 с.
10. **Горленко М. М.** Фитопатология / Под ред. М. М. Горленко. – Л. : Колос, 1980. – 319 с.
11. **Методы исследования возбудителей бактериальных болезней растений** / К. И. Бельтюкова, М. С. Матышевская, М. Д. Куликовская, С. С. Сидоренко. – К. : Наукова думка, 1968. – 316 с.
12. **Определитель бактерий Берджи.** В 2 т. – Т. 1 / Под ред. Д. Хоулта, Н. Крига, П. Снита, Д. Стейли. С. Уилльямса. – М. : Мир, 1997. – 432 с.
13. **Лабораторний практикум із курсу «Антибіотики»** / А. І. Вінніков, Л. П. Голодок, Т. В. Скляр, Н. П. Черногор. – Д. : ДНУ, 2007. – 24 с.
14. **Bacteriocin-like inhibitor substances produced by Mexican strains of *Bacillus thuringiensis*** / J. E. Barboza-Corona, H. Vázquez-Acosta, D. K. Bideshi, R. Salcedo-Hernández // Archives of Microbiology. – 2007. – Vol. 187, N 2. – P. 117–126.
15. **Enhanced synthesis and antimicrobial activities of bacteriocins produced by Mexican strains of *Bacillus thuringiensis*** / N. de la Fuente-Salcido, M. G. Alanís-Guzmán, D. K. Bideshi et al. // Archives of Microbiology. – 2008. – Vol. 190, N 6. – P. 633–640.

Надійшла до редколегії 14.08.2010

УДК 594.124:591.134

Н. А. Сытник

Южный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии, Керчь

РОСТ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БЮДЖЕТ ПЛОСКОЙ УСТРИЦЫ (*OSTREA EDULIS*) В РАННЕМ ОНТОГЕНЕЗЕ

Исследованы закономерности роста и динамики балансовых составляющих энергетического бюджета личинок плоской устрицы в процессе развития. Линейный рост в раннем онтогенезе с высокой точностью описывается экспоненциальным уравнением. Определены параметры функций, связывающих длину с высотой и массой личинок. Дана количественная характеристика элементов энергетического баланса личинок устриц и показано, что при их развитии от стадии велигера до педивелигера траты энергии на рост, метаболизм и ассимиляцию пищи возрастают более чем в 10 раз. Чистая эффективность роста (коэффициент K_2) личинок в процессе развития варьирует в пределах 61,6–62,8 %, а величина удельного суточного рациона личинок устрицы составляет 32–35 % от энергетического эквивалента массы тела.

Н. О. Ситник

Південний науково-дослідний інститут морського рибного господарства та океанографії, Керч

РІСТ І ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БЮДЖЕТ ПЛОСКОЇ УСТРИЦІ (*OSTREA EDULIS*) В РАНЬОМУ ОНТОГЕНЕЗІ

Досліджено закономірності росту та динаміки балансових складових енергетичного бюджету личинок плоскої устриці у процесі розвитку. Лінійний ріст у ранньому онтогенезі з високою точністю описується експоненціальним рівнянням. Визначені параметри функцій, що пов'язують довжину з висотою та масою личинок. Надано кількісну характеристику елементів енергетичного балансу личинок устриць і показано, що при їх розвитку від стадії велигера до педивелігера витрати енергії на зростання, метаболізм і асиміляцію зростають більше ніж у 10 разів. Чиста ефективність росту (коефіцієнт K_2) личинок у процесі розвитку варіює в межах 61,6–62,8 %, а величина питомого добового раціону личинок устриці складає 32–35 % від енергетичного еквівалента маси тіла.

N. A. Sitnik

Southern Scientific Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography, Kerch

GROWTH AND THE ENERGY BUDGET OF FLAT OYSTER (*OSTREA EDULIS*) IN EARLY ONTOGENESIS

Regularities of growth and dynamics of balance constituents of the energy budget of the flat oyster larvae in development are investigated. It is shown, that the linear growth in early ontogenesis is described by the exponential equation with high accuracy. Parameters of the functions connecting length, height and weight of larvae are defined. The quantitative characteristic of the energy balance elements of oysters larvae is given. It is shown, that during development from a veliger stage to a pediveliger the energy expenditures for growth, metabolism and nutriment assimilation increase more than 10 times. Net efficiency of larvae growth (coefficient K_2) varies within 61.6–62.8 % during development, and the magnitude of a specific daily ration of oyster larvae equals 32–35 % of the energy equivalent of body weight.

Введение

Плоская (европейская, грядовая) устрица (*Ostrea edulis* Linnaeus, 1758) является одним из наиболее ценных объектов мировой марикультуры [3; 5; 8; 19, 21]. До середины XX века этот вид был широко распространен в Черном море, однако в дальнейшем в силу ряда причин (загрязнение шельфовой зоны токсикантами, эвтрофикация и др.) началось прогрессирующее снижение численности и уменьшение ареала этого вида, что обусловило необходимость его искусственного воспроизводства [4; 6; 8].

Важнейшим звеном любых биотехнологий культивирования гидробионтов является массовое получение личинок и молоди в естественных или искусственных условиях [5; 8; 14; 16; 21]. Для разработки эффективных методов массового получения спа-та устриц большое значение имеет оценка величины суточных рационов личинок, необходимая для расчета оптимальной плотности посадки при их выращивании.

В связи с этим цель настоящей работы – выявить закономерности роста и оценить величины энергетического бюджета (баланса) личинок устриц в процессе их роста и развития.

Материал и методы исследований

Работу проводили в 2001–2007 гг. в лимане (озере) Донузлав (западное побережье Крыма). Индуцирование созревания и нереста производителей и выращивание личинок осуществляли методами температурной стимуляции [5; 21]. Для кормления личинок использовали два вида микроводорослей: *Isochrysis galbana* и *Monochrysis lutheri* в концентрации 4–5 10^4 кл./мл [5; 8; 10; 15; 21].

Изучение линейного роста личинок происходило путем отбора проб (40–70 личинок) через каждые 1–3 суток в процессе их выращивания от стадии продиссоконх I до педивелигера. При помощи бинокля у особей измеряли длину и высоту раковины с точностью до 1 мкм.

Массу сухого вещества личинок определяли путем концентрирования пробы личинок и осаждения их на высушенные и предварительно взвешенные фильтры. Для удаления солей фильтр с личинками промывали дистиллированной водой с уксуснокислым аммонием, после чего выдерживали в сушильном шкафу при температуре 70 °С в течение двух суток. После взвешивания и определения суммарной массы сухого вещества подсчитывали общее число и массу личиночных раковин.

Энергетический эквивалент органического вещества личинок определяли методом мокрого сжигания [7]. Для определения энергетических трат на обмен использовано ранее полученное уравнение связи скорости потребления кислорода с длиной раковины личинок [2]. При расчете элементов энергетического баланса принято, что 1 мл O_2 и 1 мг сухой массы тканей личинок соответственно равны 20,3 Дж [1]. Температура воды во время выращивания варьировала в пределах +19...+22 °С.

Статистическую и графическую обработку полученных данных проводили методом наименьших квадратов с использованием статистических программ Statistica и электронных таблиц Excel.

Результаты исследований и их обсуждение

Изучение линейного роста личинок устрицы показало, что он с высокой точностью ($r = 0,97–0,98$) описывается экспоненциальным уравнением вида:

$$L_t = L_0 \cdot e^{k \cdot t}, \quad (1)$$

где L_0 и L_t – длина (мкм) личинки соответственно в начале роста и во время t (сут.), k – удельная скорость роста. Небольшие отклонения от теоретической кривой во время

роста наблюдались на переходных стадиях развития – от велигера к великонх и при формировании педивелигера (рис. 1). Наиболее высокий темп роста наблюдался при кормлении микроводорослью *Isochrysis galbana*: значение k составляло $0,044 \text{ сут.}^{-1}$. Менее интенсивно личинки устриц росли на монокультуре *Pavlova lutheri*: величина k составляла $0,031 \text{ сут.}^{-1}$.

Таким образом, в зависимости от вида пищи скорость роста личинок происходила хотя и с постоянной, но разной удельной скоростью роста.

В целом, продолжительность развития личинок этого вида устриц в Черном море соответствовала интервалам времени их развития и роста для *O. edulis* из других местообитаний (13–22 сут.) [5; 9; 14].

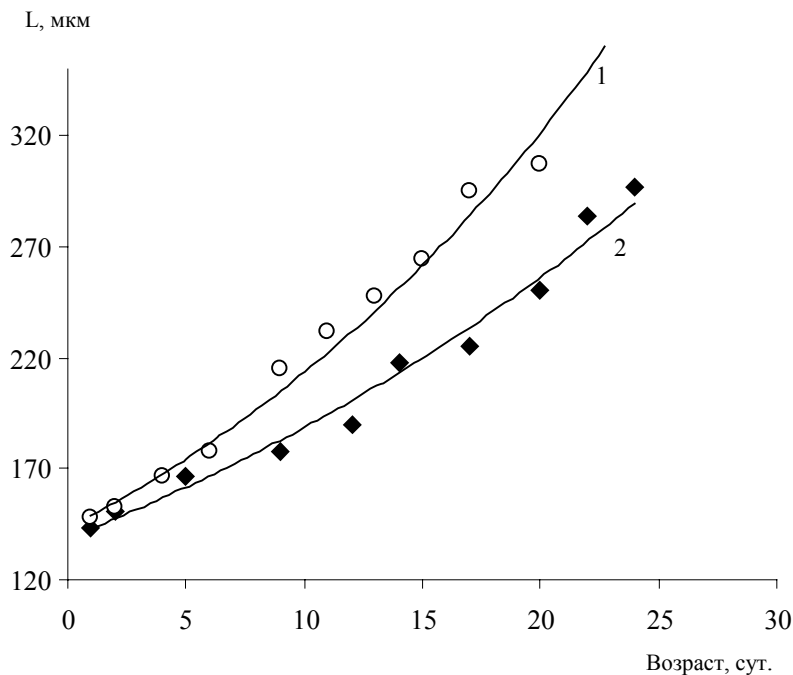


Рис. 1. Кривые линейного роста личинок устриц при кормлении микроводорослями *Isochrysis galbana* (1) и *Monochrysis lutheri* (2)

Длина и высота устриц на личиночной стадии заметно различаются [3; 5; 8; 9]. В работе Акарли и Лока [9] зависимость между этими переменными авторы аппроксимировали линейным уравнением, то есть по их данным изменение длины личинок было прямо пропорциональным высоте.

Анализ наших данных показал, что после выхода личинок из мантийной полости самок и последующего развития и роста между длиной (L , мкм) и высотой (H , мкм) их раковины хотя и наблюдается тесная связь, но она лучше описывается степенной функцией с коэффициентом регрессии меньше единицы:

$$L = 1,797 \cdot H^{0,912}, r = 0,974. \quad (2)$$

Это свидетельствует о наличии отрицательной аллометрии, то есть уже в ходе раннего онтогенеза скорость роста личинок в высоту опережает их рост в длину, хотя последняя по абсолютному значению заметно превышала высоту.

Анализ изменений длины и сухой массы личинок (W , с раковиной) показал, что у особей размером 148–310 мкм она варьировала в пределах 0,51–5,47 мкг. Связь между этими переменными в двойной логарифмической системе координат выражалась

прямой линией (рис. 2). В численном виде эта зависимость описывается степенным уравнением:

$$W = 2,49 \cdot 10^{-7} \cdot L^{2,89}, r = 0,87. \quad (3)$$

На основе уравнений (1) и (3) можно рассчитать уравнение весового роста личинок, которое имеет следующий вид:

$$W_t = 0,492 \cdot e^{0,128 \cdot t} \quad (4)$$

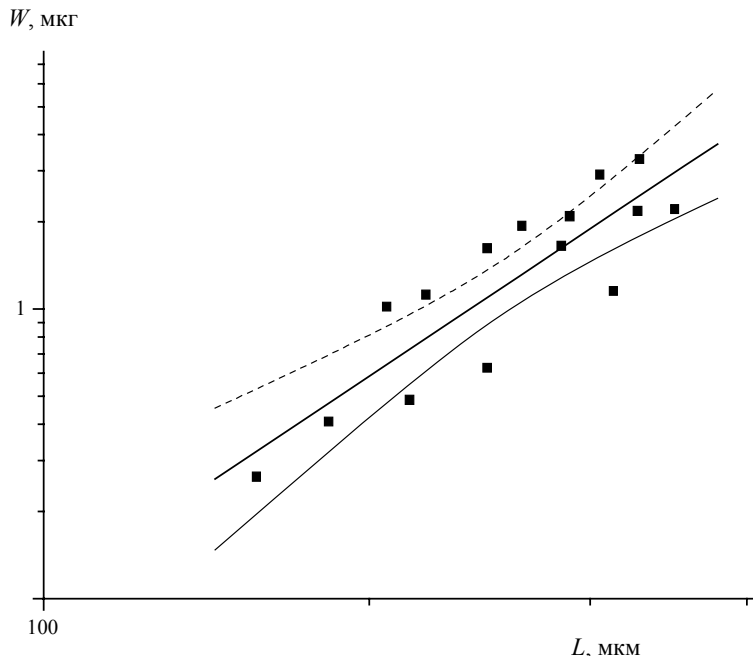


Рис. 2. Зависимость между длиной (L , мкм) и сухой массой (W , мкг) личинок плоской устрицы в процессе роста (шкала логарифмическая)

Полученные материалы позволяют оценить величину энергетического баланса (бюджета) личинок устриц в процессе их роста и развития. Согласно имеющимся данным [2], скорость потребления кислорода (R , нл $O_2 \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{экз.}^{-1}$) в зависимости и от длины у личинок выражается уравнением:

$$R = 2,456 \cdot L^{2,955}.$$

Из представленных данных видно, что траты на энергетический обмен (метаболизм) возрастали с $0,34 \text{ мкДж} \cdot \text{экз.}^{-1} \cdot \text{сут.}^{-1}$ (на стадии продиссоконх I) до $3,84 \text{ мкДж} \cdot \text{экз.}^{-1} \cdot \text{сут.}^{-1}$. В то время как траты энергии на рост (индивидуальную продукцию) были заметно выше — от $0,58$ до $6,15 \text{ мкДж} \cdot \text{экз.}^{-1} \cdot \text{сут.}^{-1}$.

На основе этих данных рассчитаны значения ассимилированной пищи (A) в процессе роста и развития личинок от стадии продиссоконх I ($\approx 150 \text{ мкм}$) до оседания метаморфоза (педивелигера, $\approx 300 \text{ мкм}$) по уравнению:

$$A = P + Q,$$

где P и Q — соответственно энергетические траты на рост и метаболизм.

Динамика отдельных элементов энергетического бюджета личинок устрицы приведена на рисунке 3.

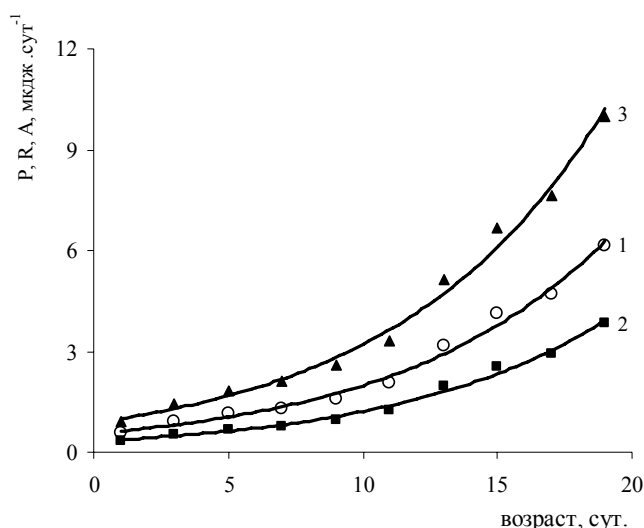


Рис. 3. Динамика балансовых составляющих энергетического бюджета личинок устриц:
 1 – энергетические траты на рост (P), 2 – траты на энергетический обмен (Q),
 3 – энергия ассимилированной пищи (A)

Таким образом, при увеличении длины личинок в 2 раза, траты энергии всех балансовых составляющих возрастают более чем в 10 раз.

В связи с полученными данными значительный теоретический интерес и определенное практическое значение представляет характеристика величины чистой эффективности роста (коэффициент K_2) устриц в раннем онтогенезе, которая выражается уравнением [1; 10; 11]:

$$K_2 = \frac{P}{A}.$$

По мере роста и развития личинок от стадии продиссоконх I до педивелигера значение K_2 характеризуется слабо выраженной тенденцией к уменьшению, хотя в целом изменяется в незначительных пределах: 0,616–0,628 (61,6–62,8 %). Эти величины достаточно близки с K_2 европейской устрицы (*Ostrea edulis* L.) других географических зон, где значение этого коэффициента варьировало в пределах 0,45–0,80 [11; 12; 14] и других видов двустворчатых моллюсков [11; 20; 22].

На основе полученных данных можно определить величину суточного рациона (C) личинок устриц по уравнению [1, 10; 16]:

$$C = A \cdot U^{-1},$$

где U – усавиваемость личинками пищи, которая была принята равной 0,75 [13].

Расчеты показали, что в процессе роста и развития личинок от стадии продиссоконх I до педивелигера абсолютная величина рациона возрастала с 1,2 до 13,2 мкДж·сут.⁻¹. Соответственно, его относительное значение (C/W) варьировало в пределах 0,32–0,35 (32–35 %), что сопоставимо с данными других авторов, полученных на этом виде [10; 14, 19; 22].

Как и у всех гидробионтов, имеющих в раннем онтогенезе пелагическую стадию, личинки плоской устрицы в этот период жизни имеют так называемую точку необратимого голодания или точку невозврата (point of no return) [17; 18]. Она характеризует максимальную продолжительность голодания особей, превышение которой при-

водит к необратимым изменениям физиологического состояния особей; нормальная жизнедеятельность животных не восстанавливается даже при последующем их полном обеспечении пищей. Применительно к исследуемому виду отсутствие или недостаточное обеспечение пищей может привести к значительной смертности устриц в пелагический период жизни и снижению эффективности сбора спата на субстрат для последующего выращивания [15].

Как отмечено выше, величина удельного суточного рациона личинок черноморской устрицы составляет 32–35 % от энергетического эквивалента массы тела. Очевидно, что столь значительные энергетические траты для поддержания жизнедеятельности личинок при недостатке или отсутствии пищи уже в течение суток могут привести к высокой смертности посадочного материала.

В настоящее время установлено, что основным резервом энергии, используемым личинками во время голодания, являются липиды и в меньшей степени протеины [10; 12; 14; 17]. По имеющимся в литературе данным, нарушение в жизнедеятельности этого вида устриц в период личиночного развития наступает при потере 53–61 % органической массы тела [16]. Следовательно, для компенсации энергетических трат на метаболизм и пластический обмен, экскрецию неусвоенной пищи при выращивании устриц на ранних стадиях онтогенеза интервал между кормлением не должен превышать 1,5 суток.

Выводы

Рост плоской устрицы в личиночный период жизни описывается экспоненциальным уравнением вида $L_t = L_0 kt$. В процессе раннего онтогенеза скорость роста личинок в высоту опережает их рост в длину. При увеличении размеров личинок от стадии продиссоконх I до педивелигера траты энергии на рост, метаболизм и ассимиляцию пищи возрастают более чем в 10 раз. Эффективность использования пищи на рост (K_2) в процессе личиночного развития варьирует в пределах 61,6–62,8 %, величина удельного суточного рациона личинок устрицы составляет 32–35 % от энергетического эквивалента массы тела.

Библиографические ссылки

1. **Алимов А. Ф.** Введение в продуктивную гидробиологию. – Л. : Гидрометеиздат, 1989. – 152 с.
2. **Золотницкий А. П.** Интенсивность дыхания и суточные рационы личинок черноморской устрицы / А. П. Золотницкий, А. И. Пекерман // Тез. докл. V Всес. конф. по пром. беспозв. – М. : ВНИРО, 1990. – С. 115–116.
3. **Кракатица Т. Ф.** Биология черноморской устрицы *Ostrea edulis* L. в связи с вопросами ее воспроизводства. – К. : Наукова думка, 1976. – 79 с.
4. **Кракатица Т. Ф.** Сокращение ареала и уменьшение численности устриц в Егорлыцком заливе // Моллюски. Основные результаты их изучения. – Л. : Наука, 1979. – С. 112–114.
5. **Монин В. Л.** Биологические основы разведения черноморской устрицы *Ostrea edulis* L.: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Севастополь, 1990. – 24 с.
6. **Переладов М. В.** Современное состояние популяции черноморской устрицы // Труды ВНИРО. – 2005. – Т. 144. – С. 254–274.
7. **Рекомендации** по определению биохимического состава различных форм органического вещества в морских водах. – М. : ВНИРО, 1983. – 36 с.
8. **Холодов В. И.** Выращивание мидий и устриц в Черном море. Практическое руководство / В. И. Холодов, А. В. Пиркова, Л. В. Ладыгина. – Севастополь : Институт биологии южных морей НАНУ, 2010. – 422 с.

9. **Acarli S.** Larvae development stages of the european flat oyster (*Ostrea edulis*) / S. Acarli, A. Lök // The Israeli Journal of Aquaculture. – 2009. – Vol. 61, N 2. – P. 114–120.
10. **Beiras R.** Influence of food concentration on the physiological energetics and growth of *Ostrea edulis* larvae / R. Beiras, A. P. Camacho // Marine Biology. – 1994. – Vol. 120, N 3. – P. 427–435.
11. **Calow P.** Ecology, evolution and energetics: A study in metabolic adaptation // Adv. Ecol. Res. – 1977. – N 10. – P. 1–60.
12. **Gabbot P. A.** Growth and metabolism of *Ostrea edulis* larvae / P. A. Gabbot, D. L. Holland // Nature. – 1973. – Vol. 3. – P. 475–478.
13. **Gerdes D.** The pacific oyster *Crassostrea gigas*. Part 1. Feeding behaviour of larvae and adults // Aquaculture. – 1983. – Vol. 31. – P. 195–219.
14. **Labarta U.** Energy, biochemical substrates and growth in the larval development, metamorphosis and postlarvae of *Ostrea edulis* (L.) / U. Labarta, M. J. Fernández-Reiriza, A. Pérez-Camacho // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. – 1999. – Vol. 238, N 2. – P. 225–242.
15. **Laing I.** Effect of food supply on oyster spat fall // Aquaculture. – 1995. – Vol. 131, N 3–4. – P. 315–324.
16. **Laing I.** Oysters – Shellfish Farming // Encyclopedia of Ocean Sciences / Ed. H. S. John, K. T. Karl, A. T. Steve. – Oxford : Academic Press, 2009. – P. 4199–4211.
17. **Moran A. L.** Physiological recovery from prolonged 'starvation' in larvae of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* / A. L. Moran, D. T. Manahan // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. – 2004. – Vol. 306. – P. 17–36.
18. **Moran A. L.** How does metabolic rate scale with egg size? An experimental test with sea urchin embryos / A. L. Moran, D. A. Jonathan // Biol. Bull. – 2007. – Vol. 212. – P. 143–150.
19. ***Ostrea edulis* L.**: Feature specific recommendations for species and habitats of conservation importance. – Meeting the MPA Network Principle of Viability. – 2010. – P. 48–49.
20. **Sprung M.** Physiological energetics of mussel larvae (*Mytilus edulis*). IV. Efficiencies // Mar. Ecol. Prog. Ser. – 1984. – Vol. 17. – P. 283–293.
21. **Utting S. D.** The hatchery culture of bivalve mollusk larvae and juveniles / S. D. Utting, B. E. Spencer // Min. Aquac. Fish. Food Directorate of Fish. Res. – 1991. – 31 p.
22. **Walne P. R.** Observations on the influence of food supply and temperature on the feeding and growth of the larvae of *Ostrea edulis* // Min. Agric. Fish. Food. Fish. Invest., UK. – 1965. – Ser. 2, N 24. – P. 1–45.

Надійшла до редколегії 12.09.2010

УДК 574.3:579.834

Н. М. Цветкова, І. І. Сараненко

*Дніпропетровський національний університет ім. Олеса Гончара
Кременчуцький державний університет ім. Михайла Остроградського*

ВПЛИВ ДОБРІВ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЧОРНОЗЕМУ

Досліджено вплив застосування добрив на показники якості ґрунту. У результаті експерименту (2005–2009 рр.) встановлено, що при внесенні хімічних речовин у ґрунт урожайність сільськогосподарських культур збільшується. Рухомі форми мікроелементів накопичуються; показники, що зумовлюють обмінні процеси у ґрунті, зменшуються. Спостерігаються тенденції до окислення та токсичності орного шару земельної ділянки. Оцінено якість земельної ділянки за 100-бальною шкалою з урахуванням поправкового коефіцієнта на показник pH сольовий для Лісостепу – 0,96. За результатами якість знижена на 9,3 %.

Н. Н. Цветкова, И. И. Сараненко

*Днепропетровский национальный университет им. Олеса Гончара
Кременчугский государственный университет им. Михаила Остроградского*

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЧЕРНОЗЕМА

Исследовано влияние применения удобрений на изменение показателей качества почвы. В результате эксперимента (2005–2009 гг.) установлено, что при внесении химических веществ в почву урожайность сельскохозяйственных культур увеличивается. Подвижные формы микроэлементов накапливаются; показатели, которые обуславливают обменные процессы в почве, уменьшаются. Наблюдаются тенденции к окислению и токсичности пахотного слоя земельного участка. Оценено качество земельного участка по 100-балльной шкале с учетом поправочного коэффициента на показатель pH солевой для Лесостепи – 0,96. По результатам качество снижено на 9,3 %.

N. N. Tsvetkova, I. I. Saranenko

*Oles' Honchar Dnipropetrovsk National University
Mihaylo Ostrogradskiy Kremenchug State University*

INFLUENCE OF THE FERTILIZERS USE ON INDICES OF CHERNOZEM'S QUALITY

Influence of fertilizers application on the change of indexes of soil quality is studied. As a result of experiment for a period of 2005–2009 we established that the productivity of agricultural plants is multiplied under applying chemical matter in soil. The mobile forms of microelements are accumulated; indexes stipulating exchange processes in soil diminish. There are tendencies to oxidization and toxicity of land arable layer. Quality of land is appraised according to the 100-grade scale with a correction factor by the salt pH for the forest-steppe – 0.96. As a result the quality is decrease on 9.3 %.

Вступ

Технічний прогрес зумовлює постійно зростаюче техногенне навантаження на навколишнє середовище (грунт, водойми, ріки, атмосферу, живі організми). До факторів, що його викликають, відносять хімізацію сільського господарства. Високі дози мінеральних добрив, численні обробки хімічними засобами захисту рослин, порушення технології їх застосування, інтенсивна обробка ґрунту, глибока оранка призвели до цілого комплексу негативних екологічних наслідків. Хімізація порушує саморегуляцію у живій природі, послаблює захисні сили рослин, тварин і людини [2].

Забезпеченість ґрунтів поживними речовинами не є постійною величиною. Вона залежить від багатьох факторів і перш за все від рівня використання органічних і мінеральних добрив. Постійне скорочення обсягів їх застосування негативно впливає на вміст елементів живлення у ґрунті. Щорічно з урожаєм, залежно від його величини, з ґрунту виносяться 100–200 кг/га поживних речовин. Якщо їх не повертати, то ґрунт поступово збіднюється, знижується врожайність сільськогосподарських культур, особливо в екстремальні роки. Для ефективного господарювання з одночасним відновленням родючості ґрунту відшкодування вносу сполук азоту повинно бути в межах 90–100 %. Невідкладне завдання землекористувачів – збільшення обсягів використання добрив і раціональна організація їх заготівлі, зберігання та застосування, а також упровадження технологій, що передбачають зменшення втрат поживних речовин із ґрунту.

Важлива умова одержання продукції, безпечної в токсикологічному відношенні, – додержання високого рівня агротехніки. При цьому особливе значення має своєчасний посів, формування оптимальної густоти рослин і впровадження інтегрованої системи захисту рослин. Загрозливого стану набуває забруднення навколишнього середовища солями важких металів, серед яких найшкідливіші – сполуки кадмію, свинцю, цинку та міді. Надлишок цих елементів викликає зниження продуктивності сільськогосподарських культур. Крім цього, рослини здатні вбирати важкі метали навіть із малозабруднених земель. А це, виходячи з прогнозу ряду науковців [6; 8; 11] про подальше постійне та значне зростання вмісту у ґрунтах названих елементів, викликає необхідність ретельного вивчення впливу надмірної їх концентрації у ґрунті на ріст і розвиток сільськогосподарських культур.

У зв'язку з тим, що важкі метали, надходячи до організму з рослинною їжею, майже не виводяться, а навпаки, акумулюються в печінці та нирках, викликаючи незворотні негативні процеси, виникає потреба в розробці попереджувальних заходів щодо їх надходження до рослин [5]. Поглинання металів сільськогосподарськими культурами залежить від механічного складу ґрунтів, вмісту в них гумусу, реакції ґрунтового розчину, системи підживлення рослин. На легких за механічним складом ґрунтах вони рухливіші, ніж на важких. На високогумусованих ґрунтах доступність важких металів значно зменшується, на кислих – підвищується [8]. Вапнування кислих ґрунтів послаблює засвоєння перелічених вище елементів, бо значна їх кількість стає малорухливою та фіксується у ґрунті [9]. Спільне внесення вапнякових матеріалів і гною ефективніше, ніж роздільне, тому що при цьому надходження важких металів до рослин наближається до мінімуму. Завдяки правильному поєднанню підживлювальних заходів у цілому можна одержати екологічну чисту продукцію [10].

На території Кіровоградської області поширенні одні з найродючіших ґрунтів світу – чорноземи. Однак, унаслідок інтенсивного використання в останні десятиріччя їх потенційна родючість поступово знижується. За таких умов ґрунти потребують державного захисту щодо припинення їх деградації та відновлення втраченої родючості.

На це спрямовані Указ Президента України «Про суцільну агрохімічну паспортизацію земель сільськогосподарського призначення» від 2 грудня 1995 року та Закон України «Про охорону земель». Ними передбачаються запровадження державного контролю за використанням земель, зміною якісних показників родючості та забруднення ґрунтів пестицидами, важкими металами та радіонуклідами.

На виконання Указу за період з 1996 по 2000 рік в області проведено агрохімічну паспортизацію земель, яка покладена на обласний державний проектно-технологічний центр охорони родючості ґрунтів і якості продукції, у результаті чого визначено стан ґрунтів усіх господарств незалежно від форм власності, видано на кожне поле чи ділянку еколого-агрохімічний паспорт, показники якого поновлюються на зрошенні кожні 3, а на богарних землях – 5 років. До цієї якісно нової форми агрохімічної оцінки ґрунтів порівняно з відомим усім агрохімічним обстеженням включено цілий ряд нових показників, а самому документу (еколого-агрохімічному паспорту) надається певний юридичний статус [4].

Матеріал і методи досліджень

Об'єкт дослідження – земельна ділянка (чорнозем деградований слабовмитий середньосуглинковий) площею 92,38 га, розташована на території Василівської сільської ради Онufріївського району Кіровоградської області (у с. Василівка). Чисельність населення – 856 жителів. Відстань від районного центру – с. м. т. Онufріївка – 25 км, від обласного центру – м. Кіровоград – близько 95 км.

На території сільської ради переважають чорноземні ґрунти, які мають сприятливі фізико-хімічні та агрохімічні властивості для вирощування сільськогосподарських культур, але на окремих ділянках відбувається посилене їх підкислення, зменшення запасів рухомих форм поживних речовин і гумусу. Загальна площа земель Василівської сільської ради – 4690,7 га, у тому числі сільськогосподарських угідь: ріллі – 4360,9 га, пасовищ – 189,3 га, сіножатей – 27,4 га; за функціональним використанням: землі житлової забудови – 31,5 га, землі комерційного використання – 0,4 га, землі громадського призначення – 4,6 га, землі автомобільного транспорту – 7,0 га, землі технічної інфраструктури – 0,2 га, землі рекреаційного призначення – 69,4 га.

За результатами досліджень 2005 р. в орному шарі експериментальної ділянки у середньому міститься гумусу – 2,30 мг/г, сполук азоту, що легко гідролізуються – 9,4 мг/г, рухомого фосфору – 6,0 мг/г, обмінного калію – 9,3 мг на 100 г ґрунту, рухомих форм бору, марганцю та цинку – відповідно 1,2, 28,4 та 0,38 мг/кг ґрунту.

Для визначення впливу використання добрив проведено спостереження (2005–2009 рр.) за такими показниками: гідролітична кислотність, мг-екв/100 г (Г. Каппена), *pH* сольовий (М. І. Алямовського), сума увібраних основ *Ca – Mg*, мг-екв/100 г (комплексометричний метод), гумусу, % (І. В. Тюріна), сполук азоту, що легко гідролізуються, мг/100 г (А. Х. Корнфілда), рухомого фосфору, мг/100 г (Ф. В. Чирікова), обмінного калію, мг/100 г (Ф. В. Чирікова), бору, мг/кг (М. Бергера – Е. Труога), марганцю, мг/кг (М. К. Крупського – Г. М. Олександрової), цинку, мг/кг (ААС), кадмію, мг/кг (ААС), свинцю, мг/кг (ААС), міді, мг/кг (ААС).

При дефіциті у ґрунті марганцю вносили марганізовані суперфосфати, нітроамофоски, нітрофоски з розрахунку 4–5 кг марганцю на гектар. За наявності сірчаноокислого марганцю обробляли насіння з розрахунку 40–50 г на гектарну норму або проводили позакореневе підживлення посівів 0,05 % розчином, використовуючи по 250–400 г препарату на гектар посіву.

При низькому вмісту цинку вносили в дозі 3–10 кг/га. При середньому забезпеченні ґрунту цинком достатньо передпосівної обробки насіння (30–50 г сульфату цинку на гектарну норму) або позакореневого підживлення (300 г на гектар). Потреба рослин у цинку може бути також задоволена внесенням збагачених ним мінеральних добрив. У 2005–2010 рр. вносили бор по 2–3 кг/га з мінеральними добривами на ґрунтах із низьким і середнім його забезпеченням. Надійний шлях підвищення ефективності та ресурсозберігального використання мінеральних добрив – локальне внесення їх у ґрунт. Цей агротехнічний захід дає можливість за рахунок збільшення коефіцієнтів використання елементів живлення на 35–40 % зменшити дозу туків у 1,5–5,0 раза без зниження їх ефективності. Локалізацію добрив здійснюють при посіві або посадці культур у рядки чи лунки, під основну обробку або під допосівну культивування культураторами-рослинопідживлювачами та зернотуковими сівалками. Застосовують її в першу чергу при використанні гостродефіцитних фосфорних туків. При будь-якому способі внесення мінеральних добрив поєднується з використанням перегною. Це також дозволяє зменшувати норми туків, що цілком відповідає ресурсозберігальній технології їх застосування. Відповідно до санітарних норм гранично допустима концентрація важких металів у ґрунті повинна складати по кадмію – 3 мг/кг, свинцю – 20, цинку – 100, ртуті – 2, міді – 40 мг/кг ґрунту [3].

Дослідження земель сільськогосподарського призначення господарства на вміст важких металів (міді, кадмію, цинку, свинцю) проводили методом атомно-абсорбційної спектроскопії. Вміст названих елементів у господарстві не перевищує гранично допустимих концентрацій. Проте небезпека накопичення важких металів у продукції існує, а тому потрібний постійний контроль за придатністю її для споживання.

Еталонним за вмістом гумусу приймається (оцінюється в 100 балів) ґрунт, який у орному шарі містить 6,2 % гумусу. Це відповідає запасам 500 т/га органічної речовини в 0–100 см шарі чорноземів звичайних середньогумусних легко- та важкосуглинкових і чорноземів типових середньогумусних середньосуглинкових. За вмістом поживних елементів за еталонний (100 балів) прийнятий ґрунт, в орному шарі якого міститься легкогідролізованих сполук азоту – 225 мг/кг (за А. Х. Корнфілдом), рухомого фосфору – 176 (за Ф. В. Чиріковим), 201 (за О. Т. Кірсановим), 53 мг/кг (за Б. П. Мачигінім), обмінного калію – 157 (за Ф. В. Чиріковим), 213 (за О. Т. Кірсановим), 50 мг/кг (за Б. П. Мачигінім), мікроелементів: бору – 1,5, марганцю – 30, міді – 1,5, цинку – 1,5 мг/кг ґрунту. Оптимальною величиною (100 балів) у метровому шарі ґрунту є 200 мм/га. Зменшення цього показника до 100 мм істотно погіршує водний режим сільськогосподарських культур [1]. Оцінка якості земельної ділянки проводилась окремо за кожним із показників за 100-бальною шкалою, де за 100 балів береться агрохімічний показник еталонного ґрунту.

Результати та їх обговорення

До завдання роботи входило вирішення питання збільшення у ґрунті концентрацій доступних для рослин форм сполук азоту, калію, фосфору, бору, марганцю, цинку, вмісту гумусу шляхом комплексного додавання органічних і мінеральних добрив разом із засобами захисту рослин (табл. 1).

Аналіз результатів експерименту (табл. 2) показав, що урожайність сільськогосподарських культур зростає (ц/га): для озимої пшениці – з 26,0 до 60,5, кукурудзи – з 30,0 до 95,0, соняшнику – з 10,0 до 25,8. Уміст зазначених елементів збільшився: сполук азоту – 9,4–9,7 мг/100 г, калію – 9,3–9,6 мг/100 г, фосфору – 6,0–6,5 мг/100 г, бору – 1,2–1,4 мг/кг, цинку – 0,38–0,40 мг/кг, рухомого цинку 9,3–

10,0 мг/кг, рухомого марганцю – 28,4–28,9 мг/кг, гумусу – 2,3–2,8 %. Показники, що зумовлюють обмінні процеси у ґрунті, зменшуються: гідролітична кислотність – 1,02–0,80 мг-екв./100 г, *pH* сольовий – 6,0–5,6, сума увібраних основ (*Ca* + *Mg*) – 28,0–27,0 мг-екв./100 г. Рухомі форми мікроелементів (мг/кг): кадмію – 0,23–0,31, свинцю – 2,3–2,7, міді – 2,6–2,9 накопичуються, що збільшує токсичність ґрунту.

Таблиця 1

Хімічні властивості орного шару ґрунту експериментальної земельної ділянки

Показник стану ґрунту		Еталон	Середньозважені величини за роками обстеження				
			2005	2006	2007	2008	2009
Гідролітична кислотність, мг-екв./100 г		1,80	1,01	1,02	1,01	1,00	0,80
Показник <i>pH</i> сольовий		6,5	6,0	6,0	6,0	5,8	5,6
Сума увібраних основ (<i>Ca</i> + <i>Mg</i>), мг-екв./100 г		33,0	28,0	28,0	27,0	27,3	27,2
Вміст в орному шарі ґрунту	гумусу, %	6,20	2,30	2,35	2,33	2,50	2,80
	сполук азоту, що легко гідролізуються, мг/100 г	22,5	9,4	9,5	9,4	9,5	9,7
	рухомого фосфору, мг/100 г	17,6	6,0	6,4	6,1	6,4	6,5
	обмінного калію, мг/100 г	15,1	9,3	10,0	9,5	9,5	9,6
	бору, мг/кг	1,5	1,2	1,3	1,4	1,3	1,4
	цинку, мг/кг	5,00	0,38	0,38	0,38	0,39	0,40
Вміст рухомих форм	кадмію, мг/кг	0,70	0,23	0,22	0,22	0,29	0,31
	свинцю, мг/кг	2,0	2,3	2,5	2,5	2,6	2,7
	міді, мг/кг	3,0	2,6	2,7	2,7	2,8	2,9
	цинку, мг/кг	23,0	9,3	9,4	9,4	9,8	10,0
	марганцю, мг/кг	50,0	28,4	28,0	28,0	28,6	28,9
	Еколого-агрохімічна оцінка		100,0	65,2	58,4	60,0	59,3

Таблиця 2

Динаміка внесення добрив і врожайність сільськогосподарських культур

Показники		Роки				
		2005	2006	2007	2008	2009
Внесено	органічні добрива, т/га	5,0	5,0	10,0	12,0	35,0
	мінеральні добрива, кг діючої речовини	30,0	31,5	33,0	60,0	101,0
	засоби захисту рослин, кг/га	1,0	1,5	1,5	1,9	3,2
Урожайність	озима пшениця, ц/га	26,0	30,0	38,0	42,0	60,5
	кукурудза на зерно, ц/га	30,0	38,0	45,0	70,1	95,0
	соняшник, ц/га	10,0	12,0	14,2	15,0	25,8

Нами проведено оцінку якості земельної ділянки за 100-бальною шкалою з урахуванням поправкового коефіцієнта на показник *pH* сольовий для Лісостепу – 0,96 [7]. За результатами обчислення якість знижено на 9,3 %. При подальшому накопиченні кадмію, свинцю та міді ґрунти будуть віднесені до категорії токсичних.

Інтенсивна хімізація земельної ділянки, застосування пестицидів і штучних добрив разом із важким сільськогосподарським устаткуванням знищують мікрофлору та тварин ґрунтового комплексу – основних відтворювачів родючості ґрунту. Правильне застосування добрив досягається проведенням інших сільськогосподарських робіт: боротьба з бур'янами, хворобами та шкідниками рослин, вибір оптимальних сортів, дотримання строків посіву, норм висіву та посадки.

Висновки

Родючість ґрунту не залишається стабільною на дослідженій земельній ділянці на території Василівської сільської ради. Вона залежить перш за все від правильного, кваліфікованого використання добрив у сівозмінах. При внесенні високих доз сполук

азоту у 2005–2009 рр. спостерігалось нагромадження у продуктах рослинництва надмірної кількості нітратів, забруднення ними відкритих водойм і ґрунтових вод, а повітря – окислами азоту. Найнебезпечніші для здоров'я людей і тварин – нітрати, а також утворені при їх наявності вторинні аміни, яким властива канцерогенна, мутагенна та ембріотоксична дія. Кількість азотних добрив слід збалансувати з використанням фосфорних так, щоб співвідношення між ними не виходило за межі 1 : 0,8–1,2. Варто забезпечувати також внесення необхідної кількості калію, недобір якого викликав накопичення в рослинній продукції надлишку нітратів та нітритів, особливо при використанні азотних добрив в аміачній формі. Доцільно практикувати внесення нітрогену вроздріб, користуючись показниками ґрунтової та рослинної діагностики, впроваджуючи у виробництво стійкі до нагромадження в урожаї нітратів сорти сільськогосподарських культур.

Інтенсивна і не завжди вміла експлуатація ґрунтів викликає небажані в них зміни, відбувається посилене їх підкислення, зменшення запасів рухомих форм поживних речовин і головного фактора родючості ґрунтів – гумусу. Якщо не вжити відповідних заходів, такі процеси можуть стати незворотними.

Бібліографічні посилання

1. **Агропромисловий** комплекс України: стан, тенденція та перспективи розвитку // Інформ.-аналіт. зб. – К. : ІАЕ УААН, 2002. – Вип. 5. – 409 с.
2. **Медведєв В. В.** Методологія комплексного обстеження, використання і охорони ґрунтового покриву України // Проблеми моніторингу ґрунтів і сучасні технології відтворення їх родючості. – Вип. 15, т. 1. – Кам'янець-Подільський, 2007. – С. 17–21.
3. **Почвоведение** / Под. ред. В. А. Ковды, Б. Г. Розанова. В 2 ч. – М. : Высш. шк., 2000. – 400 с.
4. **Про суцільну** агрохімічну паспортизацію земель сільськогосподарського призначення / Указ Президента України від 02.12.1995 р. № 1118 // Зем. Законодавство України: В 2 кн. – Кн. 1. – К. : Урожай, 2002. – 686 с.
5. **Сучасні** технології відтворення родючості ґрунтів та підвищення продуктивності агроєкосистем / Ю. О. Тараріко, О. О. Іващенко, О. М. Бердніков та ін. – К. : Аграрна наука, 2004. – 126 с.
6. **Проблеми** агрохімічного моніторингу ґрунтів Кіровоградської області / С. Л. Синицький, Ю. А. Мамчур, О. Г. Хитрук та ін. // Наук. вісник Чернівецького ун-ту. Біологія. – 2007. – Вип. 360. – С. 38–42.
7. **Топольний Ф. П.** Моніторинг ґрунтів – наукова основа / Ф. П. Топольний, І. М. Гульванський // Проблеми моніторингу ґрунтів і сучасні технології відтворення їх родючості. – Вип. 15, т. 1. – Кам'янець-Подільський, 2007. – С. 24–26.
8. **Цветкова Н. Н.** Особенности миграции органо-минеральных веществ и микроэлементов в лесных биогеоценозах степной Украины. – Д. : Изд-во ДГУ, 1992. – 238 с.
9. **Zuen-Sang C.** Chemical remediation techniques for the soils contaminated with cadmium and lead in Taiwan / C. Zuen-Sang, L. Gend-Jauh, L. Jen-Chyi // Environmental Restoration of Metals-Contaminated Soils / Ed. I. K. Iskandar. – 2000. – P. 93–107.
10. **Keller C.** Heavy-metal uptake by agricultural crops from sewage sludge treated soils of the Upper Swiss Rhine Valley and the effect of time / C. Keller, A. Kayser, R. Schulin // Environmental Restoration of Metals-Contaminated Soils in USA. – 2001. – P. 273–293.
11. **Laperche V.** Immobilization of lead by in situ formation of lead phosphates in soils // Environmental Restoration of Metals-Contaminated Soils / Ed. I. K. Iskandar. – 2000. – P. 61–75.

Надійшла до редколегії 25.08.2010

ЗМІСТ

Алексеев Е. Н., Полишко Т. М., Винников А. И. Пищевая, лечебная и экологическая ценность грибов <i>Pleurotus ostreatus</i>	3
Болгарін В. В. Просторовий розподіл популяцій турунів-міксофітофагів в умовах промислового міста (на прикладі м. Нікополь)	10
Дрегваль О. А., Черевач Н. В., Вінніков А. І. Підбір оптимальних режимів кислотності середовища та аерації при глибинному культивуванні <i>Bacillus thuringiensis</i> та <i>Beauveria bassiana</i>	15
Жерносекова И. В., Черногор Н. П., Тымчук А. А., Винников А. И. Методы планирования экспериментов при оптимизации питательной среды для стрептомицета	20
Жуков А. В., Лядская И. В. Первичная продуктивность агробиогеноценозов на экспериментальном участке рекультивации земель, нарушенных горнодобывающей промышленностью	29
Зайко Г. А., Лихолат Ю. В. Фізіологічні особливості стійкості основних представників квітучих газонів на території ботанічного саду ДНУ ім. Олеся Гончара	37
Качинська В. В. Структура та різноманіття наземної мезофауни консорцій <i>Ulmus</i> і <i>Populus</i> промислових ділянок гірничо-металургійного комплексу Кривбасу	42
Кісякова М. О., Гаврилук Г. П., Воронкова О. С., Сірокваша О. А., Вінніков А. І. Ліпосоми: структура, властивості, способи введення в організм із терапевтичною метою	52
Пахомов А. Е., Коновалова Т. М., Жуков А. В. ГИС-подход к оценке изменчивости электропроводности почвы под влиянием педотурбационной активности слепыша (<i>Spalax microphthalmus</i>)	58
Кононенко С. В. Біоіндикація впливу автотранспорту на мікрофауну у межах м. Дніпропетровськ	67
Корольов О. В. Трофічні переваги <i>Pterostichus melanarius</i> (Coleoptera, Carabidae) у виборі об'єктів живлення в умовах лісових біогеноценозів степового Придніпров'я	73
Кузнецова О. В. Использование природных и синтетических рострегуляторов растений в промышленной микологии и солодоращении	86
Малік М. Г. Використання гліального фібрилярного кислого білка мозку риб у діагностиці стану природного середовища	92
Орлова Л. Д. Інтенсивність фотосинтезу лучних рослин лівобережного Лісостепу України	98
Стонцюс О. С., Черевач Н. В., Вінніков А. І. Особливості виділення та ідентифікації фітопатогенних бактерій та пошук їх природних антагоністів	105
Сытник Н. А. Рост и энергетический бюджет плоской устрицы (<i>Ostrea edulis</i>) в раннем онтогенезе	110
Цвєткова Н. М., Сараненко І. І. Вплив добрив на показники якості чорнозему	117
ЗМІСТ	123

**ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО
УНІВЕРСИТЕТУ**

Біологія. Екологія

Заснований у 1993 р.

Випуск 18, том 1

Українською, російською та англійською мовами

Свідоцтво державної реєстрації серія КВ № 7898 від 17.09.2003 р.

Редактор В. Д. Маловик
Технічний редактор В. А. Усенко
Коректор В. Д. Маловик
Оригінал-макет виготовив В. В. Бригадиренко

Підписано до друку 17.11.10. Формат 70×108 ¹/₁₆. Папір друкарський. Друк плоский.
Ум. друк. арк. 10,5. Ум. фарбовідб. 10,96. Обл.-вид. арк. 10,0. Тираж 100 пр. Вид. № 1486.
Замовлене

Свідоцтво державної реєстрації № ДК – 289 від 21.12.2000 р.

Видавництво Дніпропетровського університету,
пр. Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, 49010

Друкарня ДНУ, вул. Наукова, 5, м. Дніпропетровськ, 49050

УДК 57+574.581
ББК 28

*Друкується за рішенням вченої ради
Дніпропетровського національного університету ім. Олеса Гончара
згідно з планом видань на 2010 рік*

Приведены результаты научных исследований, посвященных актуальным проблемам экологии, зоологии, геоботаники, почвоведения, биохимии, микробиологии, физиологии человека и животных, физиологии растений, медицины. Раскрывается роль растений, животных, микроорганизмов в формировании нарушенных и естественных экосистем.

Для широкого круга научных сотрудников, преподавателей, аспирантов, студентов, работников здравоохранения.

Наведено результати наукових досліджень, присвячених актуальним проблемам екології, зоології, геоботаніки, ґрунтознавства, біохімії, мікробіології, фізіології людини та тварин, фізіології рослин, медицини. Розкривається роль рослин, тварин, мікроорганізмів у формуванні порушених і природних екосистем.

Для широкого кола науковців, викладачів, аспірантів, студентів, працівників охорони здоров'я.

Редакційна колегія:

д-р біол. наук, проф. **О. Є. Пахомов** (відп. редактор); канд. біол. наук, доц. **В. В. Бригадиренко** (відп. секретар); чл.-кор. НАНУ, д-р біол. наук, проф. **А. П. Травлєєв**; д-р біол. наук, проф. **Н. А. Білова**; д-р біол. наук, проф. **О. М. Вінниченко**; д-р біол. наук, проф. **А. І. Вінніков**; канд. біол. наук, доц. **В. Я. Гассо**; д-р біол. наук, проф. **Ю. І. Грицан**; д-р біол. наук, проф. **А. І. Дворецький**; д-р біол. наук, проф. **Л. Г. Долгова**; д-р біол. наук, проф. **В. М. Зверковський**; канд. біол. наук, ст. н. с. **А. Ф. Кулик**; д-р біол. наук, проф. **В. П. Ляшенко**; д-р біол. наук, проф. **Ю. В. Лихолат**; канд. біол. наук, проф. **О. Б. Мурзін**; д-р біол. наук, проф. **Л. П. Мицик**; д-р біол. наук, проф. **Г. О. Ушакова**; канд. с.-г. наук, доц. **О. В. Федоненко**; д-р біол. наук, проф. **Н. М. Цветкова**; д-р біол. наук, проф. **Н. І. Штеменко**; д-р біол. наук, проф. **О. О. Шугуров**.